

LIANG YONG

**UM PROGRAMA PARA UTILIZAÇÃO DE  
PARÂMETROS DE EULER NA  
ANÁLISE CINEMÁTICA  
TRIDIMENSIONAL DE MECANISMOS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

Orientador:  
**Prof. Dr. Valter Francisco Arruda Alves**

São Paulo  
1996

OK

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010059

*Aos meus pais*

*Liang Zheng Kun & Yun Peng Cheng*

*Aos meus carmas agradaveis*

*Van, Yu, Qi*

*e*

*Jseli, Ricardo, Elizabeth*

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, BUDA, por tudo que tenho passado.

Ao Grande Mestre, pela sua ajuda espiritual.

Ao Prof. Valter Francisco Arruda Alves, pela sua orientação, paciência, e salvação em todos meus momentos difíceis.

Ao Prof. Tarcisio Coelho, pela sua generosa orientação, colaboração, e ajuda de tradução e revisão.

Ao Prof. Paulo C. Kaminski, pelas valiosas críticas e sugestões.

Aos colegas: Renado, Marcos, Cersa, Giovanni, André, Fran, Pestano, Tomaz, pela amizade, generosidade, e ajuda de tradução.

Aos amigos chineses: Tu, Chen, Qi, Rodrigo Wang, Jian Quan, Rebeca, Cheng, Yuan, Celina pela amizade e compreensão.

Ao Prof. Edison Conçalves, Nunes Dias pela ajuda financeira durante minha estadia no SENO.

À CNPq pela ajuda financeira.

## ÍNDICE

Nomenclatura	iii
Abstract	vi
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo do Projeto	1
1.2 Métodos de Análise	2
1.3 Métodos Computacionais	4
<b>CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
2.1 Teoria Básica dos Mecanismos	5
2.2 Mecanismos Tridimensionais	5
2.3 Parâmetros de Euler	10
<b>CAPÍTULO 3 PARÂMETROS DE EULER</b>	<b>12</b>
3.1 Sistemas de Coordenadas	12
3.2 Parâmetros de Euler como Coordenadas Generalizadas	13
3.3 Determinação dos Parâmetros de Euler	16
3.4 Identidades com Parâmetros de Euler	18
<b>CAPÍTULO 4 CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL</b>	<b>21</b>
4.1 Vínculo Relativo entre dois Vetores	21
4.1.1 Dois Tipos de Vetores	21
4.1.2 Dois Vetores Ortogonais	22
4.1.3 Dois Vetores Paralelos	23
4.2 Vínculo Relativo entre Dois Corpos	24
4.2.1 Junta ou Par Esférico	24
4.2.2 Junta Universal	26
4.2.3 Junta de Revolução	27
4.2.4 Junta Cilindrica	29
4.2.5 Junta Prismática	30
4.2.6 Junta Helicoidal	32
4.2.7 Vínculos Simplificados	35
4.2.8 Acionadores ou Motores	35
4.3 Análise de Posição, Velocidade e Aceleração	37
<b>CAPÍTULO 5 PROGRAMA</b>	<b>39</b>
5.1 Entrada de Dados	40

5.2	Análise Cinemática .....	42
5.3	Cálculo das Funções.....	45
<b>CAPÍTULO 6 EXEMPLOS.....</b>		<b>48</b>
6.1	Testes Básicos.....	48
6.2	Testes Complexos.....	67
6.2.1	Um Mecanismo de Quatro Barras Tridimensional.....	67
6.2.2	Uma Biela Manivela Tridimensional .....	73
6.2.3	Um Mecanismo R-S-S-R Tridimensional.....	78
<b>CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>		<b>82</b>
7.1	Conclusões.....	82
7.2	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	83
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>85</b>
<b>APENDICES.....</b>		<b>87</b>
A - O programa em Turbo Pascal para Análise Cinemática		
B - Resultados dos Exemplos (INPUT e OUTPUT)		
C - Resultados do "RSSR" do Prof. Tarcisio Coelho		

## NOMENCLATURA

- Matrizes são denotadas em maiúsculas em negrito.
- Matrizes coluna, vetores algébricos in em minúsculas em negrito.
- Escalares são denotados em caracteres normais.

## SÍMBOLOS

$\theta$	Angulo entre dois vetores
$\xi_i \eta_i \zeta_i$	Eixos de um sistema Carteziano local (fixo no corpo)
$\bar{\omega}_i$	Vetor velocidade angular para o corpo $j$
$\omega_i$	Componentes globais de $\bar{\omega}_i$
$\omega'_i$	Componentes locais de $\bar{\omega}_i$
$\Phi$	Um vínculo
$\Phi$	Vetor de vinculos
$\Phi_q$	Jacobiano dos vínculos
$\vec{d}$	Vetor com extremidades em corpos diferentes
$\mathbf{d}$	Componentes globais de $\vec{d}$
$e_0, e_1, e_2, e_3$	Parâmetros de Euler
$\mathbf{e}_i$	Vetor dos tres parâmetros de Euler $e_1, e_2, e_3$ para o corpo $i$
$\mathbf{p}_i$	Vetor dos quatro parâmetros de Euler $e_0, e_1, e_2, e_3$ para o corpo $i$
$\vec{r}_i$	Vetor de posição de translação para o corpo $i$
$\mathbf{r}_i$	Componentes globais de $\vec{r}_i$
$\vec{s}_i$	Vetor com ambas as extremidades no corpo $i$
$\mathbf{s}_i$	Componentes globais de $\vec{s}_i$
$\mathbf{s}'_i$	Componentes locais de $\vec{s}_i$
$\vec{u}$	Vetor unitário
$\mathbf{u}$	Componentes globais de $\vec{u}$

$x y z$	Eixos do sistema Carteziano global
$A_i$	Matriz de rotação para o corpo $i$
$G_i$	Matriz $3 \times 4$ de transformação para o corpo $i$
$L_i$	Matriz $3 \times 4$ de transformação para o corpo $i$
$I$	Matriz identidade ( $3 \times 3$ ou geral)
$a$	Vetor coluna
$a^T$	Vetor linha
$0$	Matriz nula

### OVERSCORES

- Vetor geométrico
- ~ matriz anti-simétrica
- matriz antisimétrica  $4 \times 4$  contendo uma matriz antisimétrica negativa
- + matriz antisimétrica  $4 \times 4$  contendo uma matriz antisimétrica positiva
- derivada primeira com relação ao tempo
- derivada segunda com relação ao tempo

### SOBRESCRITOS

- 1 Matriz inversa
- $i$   $i$ -ésimo intervalo de tempo
- $T$  Transposição de matriz ou vetor
- ( ) Tipo de vínculo
- ' Componentes de um vetor num sistema de coordenadas fixo no corpo

## SUBSCRITOS

*i* *i*-ésimo corpo num sistema

## ABREVIATURAS

R	um par ou junta de Rotação
S	um par ou junta eSférica
C	um par ou junta Cilindrica
X	qualquer tipo de par ou junta
DADS	Dynamic Analysis and Design System by R. C. Smith and E. J. Haug, Computer Aided Design Software, Inc. Iowa
ADAMS	Multibody System Analysis Software by R. R. Ryan, Mechanical Dynamics. Inc. Michigan, USA
3-D	tridimensional

## PALAVRAS CHAVE

- Nesta dissertação, um sistema mecânico ou mecanismo é definido como uma coleção de corpos rígidos interconectados e que podem movimentar-se uns relativamente aos outros, mantendo, nesses movimentos, consistência com os vínculos que limitam o movimento relativo desses pares de corpos.
- Análise Cinemática de um sistema mecânico preocupa-se com o movimento desse sistema, independentemente das forças que produzem esse movimento. De maneira típica, prescrevem-se a história no tempo das posições absolutas ou relativas de um ou mais corpos do sistema. A história, no tempo, das posições, velocidades e acelerações podem então ser determinadas pela resolução de sistema não linear de equações algébricas para a determinação das posições e de sistemas lineares de equações algébricas para as velocidades e acelerações.



## RESUMO

Esta dissertação trata da análise cinemática tridimensional de mecanismos gerais. Parâmetros de Euler são utilizados como coordenadas de orientação de sólidos no espaço carteziano .

Um programa, escrito em linguagem TURBO PASCAL, permite que se efetive a análise proposta. O programa foi testado mediante uma série de exemplos que vão do mais básico até casos mais complexos. Os resultados obtidos são comparados com os de outros métodos que estão disponíveis em livros e artigos.

O programa desenvolvido, YOUNG, sendo pouco exigente em termos de poder computacional, pode ser utilizado em quase todos os computadores pessoais. A entrada de dados pode ser feita tanto pelo teclado como por arquivo. Devido à estrutura modular adotada, ele admite que se adicionem características complementares que permitam, por exemplo, o tratamento de outros tipos de vínculos compostos ou, até mesmo, uma análise dinâmica.

## ABSTRACT

This dissertation focus on the computer-aided kinematic analysis of general spatial mechanisms. Euler parameters were used for orientation of bodies in 3-D. The computer program YOUNG was written in language TURBO PASCAL for kinematic analysis of spatial mechanisms. A series of tests were made from very basic to more complex. The results were compared with those of other methods, softwares referred in several books or papers.

The software YOUNG needs little computer power. It can be used in any PC. The INPUT can be selected to be done either through the keyboard or through a file. This software is of modular nature and the present implementation involves only the main components. Many further developments like composite joints as well as dynamic analysis can be made following the same methods.

# CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Objetivo do Projeto

No campo Engenharia Auxiliada por Computador (CAE), é costume distinguir várias ramificações, tais como: CAD (projeto auxiliado por computador), CAM (manufatura auxiliada por computador) e CAA (análise auxiliada por computador).

O processo de Análise Auxiliada por Computador (CAA) permite ao engenheiro simular o comportamento de um produto e modificar seu projeto ainda antes da fase de produção. Em contraste, a não utilização de CAA implicaria na construção e teste de uma série de protótipos o que seria não só dispendioso como demorado. Na verdade o projeto ótimo é frequentemente o resultado de repetitivos processos de análise. Dentro de um conceito de automação total de todas as etapas da manufatura, um dos objetivos almejados é a automação do projeto, mas esta fase passa, necessariamente, pelas técnicas de análise apoiada em computador.

No campo da CAA, existem numerosos e elegantes métodos analíticos que, ao lado de técnicas especializadas, são adequados à aplicação em mecanismos e máquinas especiais. Esta situação contrasta com os campos de análise estrutural e de circuitos eletrônicos, para os quais existem numerosos sistemas computadorizados para a formulação e solução das suas respectivas equações descritivas.

Como parte dos objetivos desta dissertação desenvolveu-se um programa, denominado de YOUNG, aplicável à análise cinemática de um mecanismo geral tridimensional. O programa lê, como INPUT, os dados do mecanismo sob análise e que são fornecidos pelo usuário; formula, de maneira sistemática, as equações descritivas; então resolve os sistemas algébricos não lineares ou lineares que permitem a análise dos

valores de posição, velocidade e aceleração, sendo os resultados fornecidos como OUTPUT ao usuário.

Para que seja possível esse desenvolvimento, apresentam-se, inicialmente, a teoria fundamental e os métodos numéricos que serão aplicados na mecânica computacional. Estes são os ingredientes que permitem que se formulem as equações de maneira sistemática e se procurem soluções por caminhos numéricos.

Nesta dissertação os parâmetros de Euler, que constituem um sistema de coordenadas de orientação angular, serão apresentados, conjuntamente com suas principais propriedades geométricas e algébricas, como uma ferramenta necessária ao desenvolvimento de um procedimento de análise da cinemática e dinâmica de sistemas tridimensionais.

As relações vetoriais que caracterizam os pares cinemáticos ou juntas são então definidas e aplicadas para que, conjuntamente com o uso de coordenadas cartesianas e dos parâmetros de Euler seja possível construir uma biblioteca de rotinas descritivas dessas juntas.

Nesta dissertação serão discutidos seis tipos típicos de juntas mecânicas, de vínculos simplificados e de elementos motores. Os resultados para esta discussão serão apresentados no apêndice B e incluem posições, velocidades (lineares e angulares) e acelerações (lineares e angulares) para cada corpo e ponto de interesse, a cada instante.

O programa YOUNG foi desenvolvido para computadores de modesta capacidade computacional e procura manter-se aberto para permitir que sirva como ferramenta de aprendizado no estudo dos mecanismos tridimensionais.

## **1.2 Métodos de Análise**

Os métodos de análise cinemática enquadram-se em duas grandes categorias:

- métodos gráficos: anteriormente a 1950, os métodos gráficos detinham a exclusividade da análise cinemática. Como os métodos clássicos da análise em mecânica podiam depender de técnicas gráficas bastante complexas. Essas técnicas partem de uma interpretação geométrica do sistema em estudo. [1]

As técnicas gráficas podem melhorar sua precisão quando são complementadas com uso de fórmulas e relações geométricas.

Ainda que uma ferramenta de CAD (como AUTOCAD) possa simplificar sobremaneira as técnicas gráficas, beneficiando-as ainda com uma precisão melhorada, sua aplicação continua limitada quando da consideração de problemas tridimensionais.

- Métodos Analíticos: Este ataque é mais sistemático quando comparado com o método gráfico. Neste caso vetores, matrizes ou outros entes matemáticos são expressos em termos de suas componentes num sistema comum de coordenadas. A partir da formulação analítica fica fácil resolver, repetitivamente, para diversos valores dos movimentos de entrada.

Por outro lado os métodos analíticos conduzem à necessidade de resolver sistemas algébricos lineares e não lineares.

A eficácia da utilização de um programa de computador fica aparente quando se pretende estudar, pelo método analítico, a cinemática e a dinâmica de um sistema mecânico complexo. Presentemente, dada a complexidade dos sistemas algébricos não lineares que caracterizam a cinemática, a utilização de computadores tornou-se indispensável.

A combinação de método analítico com um programa de computador é chamada de *método computacional*.

### 1.3 Métodos Computacionais.

A análise auxiliada por computador aplicada aos sistemas mecânicos trata de desenvolver métodos que permitam a formulação e solução das equações de movimento. Isto inclui a aplicação de técnicas sistemáticas tanto na formulação das equações como na sua solução numérica.

São dois os tipos principais de programas de computador que permitem a análise de sistemas mecânicos: *programas especiais* e *programas de uso geral*.

- O programa especial trata de apenas um tipo de sistema mecânico ou mecanismo. Após a dedução das equações de movimento para o mecanismo sob estudo estas são incorporadas no programa . Certas informações, como dimensões e propriedades físicas de cada componente, podem ser fornecidas pelo usuário com entrada ou INPUT. Estes programas são eficientes do ponto de vista computacional, tanto em velocidade como no volume de informação armazenada. Sua desvantagem, é obvio, reside na sua inflexibilidade para tratar de outros tipos de mecanismos.

- Já um programa de uso geral pode ser empregado para analisar uma variedade de sistemas mecânicos. O usuário fornece dados que descrevem, completamente, o sistema mecânico em estudo. Os dados devem conter informação tais como o número de corpos, as conexões entre eles, os tipos dessas juntas ou conexões, além de suas propriedades geométricas e físicas. A partir dos dados o programa deve gerar as equações do movimento e então resolve-las numericamente. O programa de uso geral acaba não sendo tão eficiente do ponto de vista computacional mas compensa essa relativa ineficiência com uma maior flexibilidade.

O objetivo desta dissertação é desenvolver um programa de computador de uso geral que permita a análise cinemática de mecanismos tridimensionais.

## CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Teoria Básica dos Mecanismos

Os seguintes livros na lista de referência descrevem a teoria básica dos mecanismos:

[1], [2], [3], [4], [5], [6]

Os livros Shigley[1], Rolland[2], Grant[3], Fred[4], Beyer[5] e Paul[6] ajudam a entender as tradicionais técnicas gráficas e modelamentos físicos para a análise cinemática de sistemas mecânicos.

### 2.2 Mecanismos Tridimensionais

As referências [7]~[19] apresentam várias teorias, métodos e mesmo alguns programas para análise de mecanismos tridimensionais.

☞ Suh e Radcliffe[7] apresentam uma cinemática moderna com ênfase em projeto por métodos numéricos. Métodos vetoriais são usados em análise de cinemática plana, enquanto notação matricial é usada como uma ferramenta mais conveniente nos problemas que envolvem movimentos tridimensionais. Dois métodos que descrevem rotações tridimensionais são usados neste livro: (1) uma sequência de três rotações  $\alpha, \beta, \gamma$  sobre três eixos cartesianos  $x, y, z$ . (2) três deslocamentos angulares relativos  $\psi, \theta, \phi$  chamados ângulos de Euler. Ambos os métodos geram complexidades na descrição das rotações tridimensionais.

O livro apresenta um método de análise cinemática de mecanismos planos auxiliado por computador. Contudo, os mecanismos RSSR, RRSS, e RCCC são resolvidos de forma computacional por análise cinemática de mecanismos tridimensionais. Nenhum método geral é apresentado para modelos 3-D.

✎ Nikravesh[8] apresenta a teoria fundamental e os métodos numéricos usados no desenvolvimento de programas de computador para a análise da resposta de sistemas mecânicos simples e complexos. Os parâmetros de Euler são apresentados como conjunto de coordenadas rotacionais na análise cinemática tridimensional para a formulação das equações de movimento.

A natureza quadrática da matriz de transformação, a ausência de funções trigonométricas e o aspecto não-singular dos parâmetros de Euler, os fazem mais atrativos do que outros conjuntos de coordenadas rotacionais. Uma outra vantagem da formulação em parâmetros de Euler é que ela permite que se escrevam relações cinemáticas para os diferentes pares cinemáticos na forma de matriz compacta de matrizes afim de melhorar a eficiência dos algoritmos computacionais desenvolvidos.

Os programas para análise cinemática plana são desenvolvidos em FORTRAN. Porém, aqueles para análise tridimensional não são apresentados.

✎ Huang and Wang[9] apresentam a análise de forças dinâmicas num mecanismo tridimensional complexo “multiloop”, com  $n$  graus de liberdade. Um mecanismo hipotético equivalente é usado para analisar e resolver nas seis componentes de forças de inércia e depois obter todos os torques de entrada incluindo os torques hipotéticos. Usando conceito de o momento equivalente local e os coeficientes cinemáticos de influencia de primeira ordem, obtém-se as forças vinculares cruciais associadas ao por terminal de cada braço conectado ao polígono central.

O cálculo de mais de cem equações simultaneamente é evitado porque todos os cálculos contém apenas multiplicação e/ou inversão de matrizes de terceira ou sexta ordem. Contudo, este método não se aplica exatamente para mecanismos gerais tridimensionais.

✎ Lee e Liang[10] derivam uma equação polinomial de entrada-saída de grau 16 em tangente do arco-metade do deslocamento de saída para um mecanismo geral

tridimensional de 7 elementos ou mecanismo 7R. A equação de entrada-saída é expressa na forma do determinante de uma matriz 8x8 igualado a zero e a fórmula para determinar outros deslocamentos angulares são expressos de maneira explícita. A análise detalhada é feita usando uma nova análise vetorial de mecanismos tridimensionais, a qual foi desenvolvido com base na teoria de análise vetorial, álgebra de números duais e notação recursiva.

Em geral o método tangente do arco-metade é aplicado em mecanismos de barras tridimensionais.

✎ Pietro e Carlo[11] discutem a possibilidade de misturar as características conflitantes dos métodos particulares e gerais para análise de braços de robôs e mecanismos de barras em forma de uma malha fechada. Com este objetivo uma método estruturada é apresentada e a partir dela vários métodos largamente conhecidos podem ser deduzidos. A possibilidade de um melhor entendimento da natureza geométrica do problema cinemático é apontada e é mostrado como encontrar um caminho de soluções para problemas de fechamentos.

Este trabalho apresenta a possibilidade de distinguir um ponto de vista geral o qual ataca o problema de fechamento de mecanismos pela completa exploração da informação sobre a estrutura do mecanismo.

✎ Conti e Corron[12] apresentam um método numérico unificado para a investigação do comportamento cinemático de mecanismos tridimensionais com pares inferiores clássicos e juntas de contato com curvas de contato de geometria simples. Contatos intermitentes e a direções de interferências foram consideradas. Esta método foi aplicada à análise cinemática de mecanismos complexos onde cuidados especiais devem tomados na definições de tolerâncias, especialmente em mecanismos de armas de repetições.

✎ Liu[13] expressa o conceito de hélices da mecânica clássico em forma de matriz, afim de formular as equações dinâmicas do sistemas multicorpos. O método



mencionado pode manter as vantagens da teoria das hélices e evitar os inconvenientes da notação de números duais, combinando o método da matriz helicoidal com a ferramenta da teoria dos grafos do formalismo de Roberson/Wittenberg. A aplicação da teoria helicoidal é expandida ao caso geral de sistemas multicorpos. O processo inteiro de cálculo é unificado na forma matricial.

☞ Haug[14] apresenta métodos básicos para análise cinemática e dinâmica de sistemas planos e tridimensionais usando coordenadas cartesianas que se aplicam a classes amplos de mecanismos e máquinas. A sistematico coloca ênfase nos métodos que são úteis na formulação solução computacional das equações da cinemática e dinâmica. Métodos matriciais para análise vetorial e cálculo multivariável são introduzidos e usados em todo o livro. Métodos numéricos são apresentados para cálculos em que é necessário a solução por computador das equações da cinemática e dinâmica.

Esta referência ajuda o leitor a usar um programa de computador de grande escala que implementa cálculos tediosos. Os parâmetros de Euler são usados para definir um conjunto maior de juntas compostas do que as apresentadas na referência [8]. Como alguns exemplos calculados por DADS são apresentados no texto, dois deles foram selecionados nesta dissertação com o objetivo de comparação.

☞ Werner[15] apresenta um número considerável de códigos de programas para análise mecânica. É uma coleção internacionais de artigos sobre softwares disponíveis para análise cinemática e dinâmica de sistemas multicorpos que estão bem estabelecidos e encontram aceitação na comunidade usuária.

Este manual ajuda a analisar a estrutura dos principais softwares para mecanismos disponíveis no mundo e compara vários métodos usados nos programas para a formulação das equações que rejeitam os sistemas. Desta coleção conclui-se que os parâmetros de Euler são realmente bem adequados para a confecção de programas compactos generalizados. Além disso, deste livro pode-se entender que é

importante estudar mecanismos 3-D com um programa flexível, de uso geral, não comercial e aberto a todos.

✎ O livro de Schiehlen[16] é uma coleção de artigos sobre o desenvolvimento de softwares prontos para uso geral em análise de sistemas multicorpos, proposto pelo Conselho de Pesquisa Alemão. Estruturas modulares permitem que formalismos diferentes, possam ser combinados mediante a adoções de “interface” padrões.

Esta referência apresenta um bom número de pesquisas avançadas em software de sistemas multicorpos, conceitos para novos formalismos de análise dinâmica e desenvolvimento de algoritmos numéricos eficientes. Para aqueles envolvidos na realização de pesquisa básica em mecanismos, este livro ajuda na definição da direção de trabalhos futuros.

✎ Chung[17]: Suspensão McPherson é um tipo de suspensão criado nos anos 40, usados desde os anos 70 pelos projetistas de automóveis no Japão. Este artigo modelou a suspensão McPherson como um mecanismo RSSS-SC e então analisou o deslocamento contínuo mostrando os resultados graficamente.

Como um programa de análise especial, a matriz de rotações é escrita usando ângulos, como usados em [7]. Este método de rotações tridimensional é eficiente para programas especiais, mas não para análise de casos gerais.

✎ Lee e Liang[18]: A análise de deslocamento de um mecanismo de 7 barras 6R-P é discutida neste artigo e as equações de entrada-saída de grau 16 na tangente do arco do deslocamento angular desovido são deduzidos para mecanismos RRPRRRR, RRRPRRR e RRRRRPR. Os algoritmos são desenvolvidos para computar os valores dos deslocamentos remanescentes e os resultados são verificados por exemplos numéricos.

A análise detalhada é realizada usando a teoria vetorial para análise de mecanismos tridimensionais e é a mesma usada em [10]. Isto mostra que o método

vetorial é bem adequado para barras e alguns sistemas especiais , enquanto o método matricial é melhor para mecanismos em geral.

☞ Youm e Huang[19] desenvolveu um método de análise de deslocamento exato de um mecanismo tridimensional de 4 barras e aplicou-o com sucesso para mecanismos tridimensionais de 4 barras do tipo RGGR, RGCR, RGGG e RRGC. Os resultados usando este método foram soluções exatas sem a necessidade de iterações e foi chamado de método da matriz dos cossenos diretores.

Neste artigo, a análise é focada no cálculo do ângulo de rotação bem como na mudança de comprimento. O método é efetivo e pode ser estendido ao grupo de mecanismos XCCC, mas é limitado aos mecanismos de 4 barras.

### **2.3 Parâmetros de Euler**

As referências [20], [21] e [5], [11], [10] apresentam os parâmetros de Euler como um conjunto de coordenadas rotacionais e possuem vantagens na formulação da análise tridimensional cinemática e dinâmica.

☞ Lee e Yoon[20] propõem um novo método usando os parâmetros de Euler para síntese cinemática de mecanismos tridimensionais, por apresentar em algumas características desejadas para descrição de rotações finitas no espaço.

Como as altas não linearidades das funções trigonométricas das rotações angulares nas equações de síntese frequentemente trazem problemas de convergência nos procedimentos de solução numérica, a aplicação dos parâmetros de Euler e álgebra dos Quaternions ao invés da rotação angular podem eliminar as funções trigonométricas. As equações resultantes são mais facilmente resolvidas pelo método de Newton-Raphson.

Este trabalho utiliza pela primeira vez os parâmetros de Euler para síntese de mecanismos tridimensionais e segue, no campo da síntese, uma tendência bem

estabelecida de usar os mesmos parâmetros na análise de mecanismos tridimensionais.

✎ Russell[21] apresenta o primeiro algoritmo global para transformação da matriz de rotação para os parâmetros de Euler. Embora não tenha nenhuma vantagem computacional ou numérica aparente sobre os algoritmos conhecidos, ele fornece uma visão direta da relação entre a forma da matriz de rotação e a forma dos parâmetros de Euler.

A transformação de uma forma na outra é de interesse prático e teórico. Este trabalho fornece aos leitores um profundo entendimento dos parâmetros de Euler.

✎ Yang and Freudenstein[22] apresentam ‘preliminares matemáticas’ sobre álgebra dos quaternions, números duais e operadores helicoidais. Ele demonstra a aplicação destes na análise de mecanismos tridimensionais

## CAPÍTULO 3 PARÂMETROS DE EULER

A eficiência computacional de um programa de aplicação geral depende de vários fatores, dois deles são a escolha de coordenadas e o método de solução numérica. A escolha de coordenadas influencia diretamente tanto no número de equações de movimento quanto em sua ordem de não-linearidade.

### 3.1 Sistemas de Coordenadas

As equações que regem o movimento para um sistema mecânico podem ser deduzidas e expressas em várias formas, dependendo essencialmente do tipo de coordenadas utilizadas. Um conjunto de coordenadas  $q$  selecionadas para um sistema pode descrever a posição de elementos num sistema, seja de um relação a outro, seja em relações a um referencial comum.

Coordenadas generalizadas, coordenadas relativas e coordenadas Cartesianas são três sistemas de coordenadas que são utilizados para a descrição de mecanismos. Uma comparação grosseira entre três conjuntos de coordenadas, relacionadas com alguns aspectos cruciais e importantes, está na Tabela abaixo:

Uma conclusão geral que pode ser tirada desta Tabela é que com menor número de coordenadas e equações, maior é o grau de não linearidade e complexidade das equações que regem o movimento, e vice versa.

Nos programas de uso geral, métodos numéricos são usados para fornecer uma solução aproximada da solução de equações diferenciais. Geralmente, com maior número de equações, maior a chance de acúmulo de erros numéricos. Esta pode ser considerada uma vantagem adicional de utilizar-se um número mínimo de coordenadas.

	<i>Coordenadas Generalizadas</i>	<i>Coordenadas Relativas</i>	<i>Coordenadas Cartezianas</i>
<b>Número de Coordenadas</b>	Mínimo	Moderado	Grande
<b>Número de equações diferenciais de segunda ordem</b>	Mínimo	Moderado	Grande
<b>Número de equações Algébricas de Vínculo</b>	Nenhuma	Moderado	Grande
<b>Ordem da não-linearidade</b>	Alta	Moderado	Baixo
<b>Dedução das equações do movimento</b>	Trabalhosa	Moderadamente Trabalhosa	Simples
<b>Eficiência computacional</b>	Eficiente	Eficiente	Não tão eficiente
<b>Desenvolvimento de um programa de finalidade geral</b>	Difícil	Relativamente difícil	Fácil

Tabela 3.1. Comparação de tres sistemas da coordenadas

Entretanto, em contraste com o número mínimo de coordenadas, as coordenadas generalizadas, a deduções das equações de movimento usando coordenadas Cartesianas é simples. As equações obtidas podem ser facilmente colocadas em uso geral e num programa versatil de computador. Se eficiência computacional não é um fator decisivo, um sistema de coordenadas Cartesianas pode ser uma atrainte.

Nesta dissertação, Coordenadas Cartesianas são escolhidas para trabalhar em conjunto com os parâmetros de Euler, tomado como coordenada generalizada de orientação angular.

### 3.2 Parâmetros De Euler Como Coordenadas Generalizadas

Na análise tridimensional cinemática, mesmo que o procedimento de análise seja o mesmo do caso plano, são necessárias técnicas matemáticas mais poderosas, especialmente para descrever a movimentação angular de corpos no espaço. Para

caracterizar analiticamente a orientação de corpos, define-se um sistema de coordenadas generalizadas de orientações como os *parâmetros de Euler*

Uma teorema importante que é usado na definição de coordenadas generalizadas de orientações é:

**Teorema de Euler:** *O deslocamento geral de um corpo com um ponto fixo é uma rotação em torno de um eixo.*

Uma interpretação física de teorema de Euler está apresentada nas Figura seguintes onde as projeções ortogonais de pares **i-f**, **j-g**, e **k-h** sobre um eixo de rotações são iguais [14]. O eixo em torno de qual a rotação deve ocorrer chama-se *eixo de orientação* e é definida por um vetor unitário **u**. O ângulo  $\chi$  de rotação, medida no plano perpendicular a **u**, é positivo se medido anti-horário.

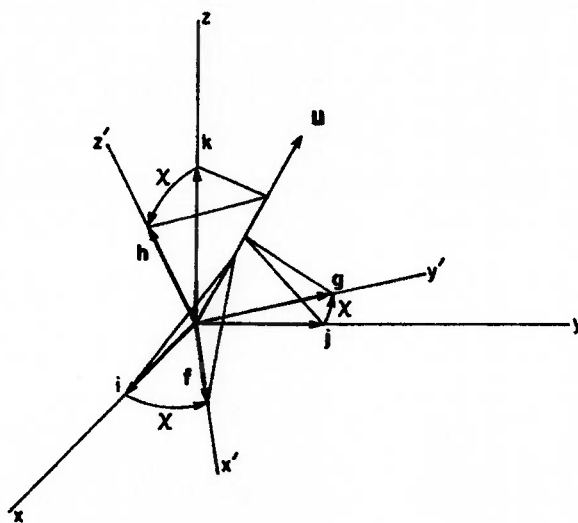


Figure 3.1 Rotação de Euler de acordo com Teorema de Euler .

De acordo com este teorema, em qualquer corpo em movimento com um ponto fixo, a orientação de eixos solidários ao corpos pode ser obtida com uma única rotação imaginária desses eixos a partir de uma orientação inicial coincidente com eixos globais. Portanto, é natural procurar uma representação de transformação de

coordenadas A em terms de parâmetros de rotação, as quais são o ângulo de rotação e os componentes vetor  $\vec{u}$  orientados no sentido do eixo de orientação . O procedimento está descrito abaixo:

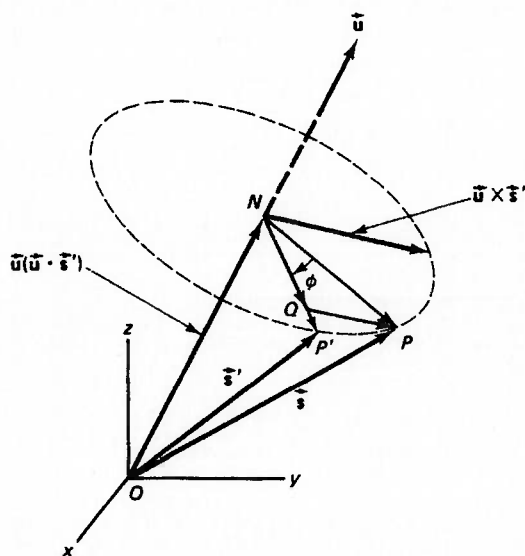


Figure 3.2 Configuração vetorial para a obtenção dos parâmetros de Euler

Na figura acima, as posições inicial e final do vetor são  $\vec{s}$  e  $\vec{s}'$  respectivamente. O vetor unitário do eixo de orientação é  $\vec{u}$ .

O vetor  $\vec{s}$  pode ser expresso na seguinte forma:

$$\vec{s} = \vec{ON} + \vec{NQ} + \vec{QP} \quad (3.1)$$

e o vetor  $\vec{ON}$  pode ser expresso como :

$$\vec{ON} = \vec{u}(\vec{u} \cdot \vec{s}') \quad (3.2)$$

também o vetor  $\vec{NP}'$  pode ser expresso como :

$$\vec{NP}' = \vec{s}' - \vec{ON} = \vec{s}' - \vec{u}(\vec{u} \cdot \vec{s}') \quad (3.3)$$

assim:

$$\vec{NQ} = [\vec{s}' - \vec{u}(\vec{u} \cdot \vec{s}')] \cos \phi \quad (3.4)$$

Então considerando os valores:

$$|\vec{NP}'| = |\vec{NP}| = |\vec{u} \times \vec{s}'| \quad (3.5)$$

Resultando

$$\vec{QP} = \vec{u} \times \vec{s}' \sin \phi \quad (3.6)$$

Concluindo, temos a seguinte formula rotação:



$$\vec{s} = \vec{s}' \cos \phi + \vec{u}(\vec{u} \cdot \vec{s}')(1 - \cos \phi) + \vec{u} \times \vec{s}' \sin \phi \quad (3.7)$$

Definindo novos valores

$$\begin{aligned} e_0 &= \cos \frac{\phi}{2} \\ \vec{e} &= \vec{u} \sin \frac{\phi}{2} \end{aligned} \quad (3.8)$$

A formula de rotação pode ser reescrita:

$$\vec{s} = (2e_0^2 - 1)\vec{s}' + 2\vec{e}(\vec{e} \cdot \vec{s}') + 2e_0\vec{e} \times \vec{s}' \quad (3.9)$$

Usando a decomposição de  $\mathbf{e} = [e_1, e_2, e_3]^T$  de  $\vec{e}$

temos :

$$\mathbf{s} = (2e_0^2 - 1)\mathbf{s}' + 2\mathbf{e}(\mathbf{e}^T \cdot \mathbf{s}') + 2e_0(\tilde{\mathbf{e}}\mathbf{s}') \quad (3.10)$$

ou

$$\mathbf{s} = [(2e_0^2 - 1)\mathbf{I} + 2\mathbf{e}\mathbf{e}^T + 2e_0\tilde{\mathbf{e}}]\mathbf{s}' \quad (3.11)$$

Onde  $\mathbf{I}$  é matriz identidade 3 x 3 e a matriz antisimétrica  $\tilde{\mathbf{e}}$  é definida como :

$$\tilde{\mathbf{e}} = \begin{bmatrix} 0 & -e_3 & e_2 \\ e_3 & 0 & -e_1 \\ -e_2 & e_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Os quatro valores  $e_0, e_1, e_2, e_3$  são denominados *parâmetros de Euler*.

Os quatro parâmetro de Euler podem ser representados como um vetor quadridimensional como segue:

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= [e_0, \mathbf{e}^T]^T \\ &= [e_0, e_1, e_2, e_3]^T \end{aligned} \quad (3.13)$$

Os quatro valores dos parâmetros de Euler não são independentes. A equação a seguir mostra as seguinte relação :

$$e_0^2 + e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 = 1 \quad (3.14)$$

Portanto, pelo menos um parâmetro de Euler não pode ser zero.

### 3.3 Determinação dos Parâmetros de Euler

Uma rotação denota-se, usando a matriz de transformação  $\mathbf{A}$ , como :

$$\mathbf{s} = \mathbf{A}\mathbf{s}' \quad (3.15)$$

Entretando, a matriz da transformação pode ser fomulada em termos de parâmetro de Euler como :

$$\mathbf{A} = (2e_0^2 - 1)\mathbf{I} + 2\mathbf{e}\mathbf{e}^T + 2e_0\tilde{\mathbf{e}} \quad (3.16)$$

Mais explicitamente como :

$$\mathbf{A} = 2 \begin{bmatrix} e_0^2 + e_1^2 - \frac{1}{2} & e_1e_2 - e_0e_3 & e_1e_3 + e_0e_2 \\ e_1e_2 + e_0e_3 & e_0^2 + e_2^2 - \frac{1}{2} & e_2e_3 - e_0e_1 \\ e_1e_3 - e_0e_2 & e_2e_3 + e_0e_1 & e_0^2 + e_3^2 - \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Para deduzir as formulas explicitas que relacionam os parâmetros de Euler com a matriz da transformação, o traço de  $\mathbf{A}$ , seja  $tr\mathbf{A}$ , isto é:

$$tr\mathbf{A} = a_{11} + a_{22} + a_{33} \quad (3.18)$$

assim:

$$\begin{aligned} tr\mathbf{A} &= 2(3e_0^2 + e_1^2 + e_2^2 + e_3^2) - 3 \\ &= 2(2e_0^2 + 1) - 3 \\ &= 4e_0^2 - 1 \end{aligned} \quad (3.19)$$

portanto:

$$e_0^2 = \frac{tr\mathbf{A} + 1}{4} \quad (3.20)$$

Substituindo este resultado nos elementos da diagonal de  $\mathbf{A}$  vem:

$$e_1^2 = \frac{1 + 2a_{11} - tr\mathbf{A}}{4} \quad (3.21)$$

$$e_2^2 = \frac{1 + 2a_{22} - tr\mathbf{A}}{4} \quad (3.22)$$

$$e_3^2 = \frac{1 + 2a_{33} - tr\mathbf{A}}{4} \quad (3.23)$$

É interessante e computacionalmente importante notar que equações acima apenas determinam as magnitudes dos parâmetros de Euler. Os sinais podem ser selecionados tanto como negativo ou positivo. Entretanto a mudança dos sinais dos quatro parâmetros não influi na matriz de transformação, já que matriz é quadratica.

### 3.4 Identidades com Parâmetros de Euler

Para melhor compreensão das equações cinemáticas que trabalham com parâmetros de Euler, são apresentadas algumas identidades. Sendo:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} -e_1 & e_0 & -e_3 & e_2 \\ -e_2 & e_3 & e_0 & -e_1 \\ -e_3 & -e_2 & e_1 & e_0 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

e

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} -e_1 & e_0 & e_3 & -e_2 \\ -e_2 & -e_3 & e_0 & e_1 \\ -e_3 & e_2 & -e_1 & e_0 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

As matrizes  $\mathbf{G}$  e  $\mathbf{L}$  são matriz de transformações que trabalhando com componentes vetoriais globais e locais respectivamente. Assim:

$$\mathbf{A} = \mathbf{G}\mathbf{L}^T \quad (3.26)$$

e

$$\dot{\mathbf{A}} = 2\dot{\mathbf{G}}\mathbf{L}^T \text{ pois } \dot{\mathbf{G}}\mathbf{L}^T = \mathbf{G}\dot{\mathbf{L}}^T \quad (3.27)$$

também

$$\ddot{\mathbf{A}} = 2\dot{\mathbf{G}}\dot{\mathbf{L}}^T + 2\ddot{\mathbf{G}}\mathbf{L}^T \quad (3.28)$$

Identidades entre parâmetros de Euler, matrizes de transformação e vetores arbitrários são apresentadas a seguir:

Inicialmente, veremos algumas definições para uso posterior. Considerar um vetor arbitrário  $\mathbf{a}$  de 3 componentes:

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = [a_x \quad a_y \quad a_z]^T \quad (3.29)$$

Uma matriz antissimétrica associada com o vetor  $\mathbf{a}$  é:

$$\tilde{\mathbf{a}} = \begin{bmatrix} 0 & -a_3 & a_2 \\ a_3 & 0 & -a_1 \\ -a_2 & a_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

Assim o produto vetorial pode ser escrito na forma de componentes:

$$\vec{a} \times \vec{b} = \tilde{\mathbf{a}}\mathbf{b} \quad (3.31)$$

Outras duas matrizes são definidas por :

$$\mathbf{a}^+ = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & -\mathbf{a}^T \\ \mathbf{a} & \tilde{\mathbf{a}} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

e

$$\mathbf{a}^- = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & -\mathbf{a}^T \\ \mathbf{a} & -\tilde{\mathbf{a}} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

Com essas definições, a dedução da equação de vínculos tridimensionais e das equações de movimento tridimensional pode ser simplificada. Para evitar provas extensas, algumas identidades são exibidos abaixo:[8](P168 )

$$\begin{aligned} \mathbf{G}^T \mathbf{a} &= \mathbf{a} \dot{\mathbf{p}} \\ \mathbf{L}^T \mathbf{a} &= \bar{\mathbf{a}} \dot{\mathbf{p}} \\ \dot{\mathbf{G}}^T \mathbf{a} &= \mathbf{a} \ddot{\mathbf{p}} \\ \dot{\mathbf{L}}^T \mathbf{a} &= \bar{\mathbf{a}} \ddot{\mathbf{p}} \\ \dot{\mathbf{A}} \mathbf{a} &= 2\mathbf{G} \bar{\mathbf{a}} \dot{\mathbf{p}} \\ \ddot{\mathbf{G}}^T \mathbf{a} &= \mathbf{a} \ddot{\mathbf{p}} \\ \ddot{\mathbf{L}}^T \mathbf{a} &= \bar{\mathbf{a}} \ddot{\mathbf{p}} \\ \ddot{\mathbf{A}} \mathbf{a} &= 2\dot{\mathbf{G}} \mathbf{L}^T \mathbf{a} + 2\mathbf{G} \dot{\mathbf{L}}^T \mathbf{a} \end{aligned} \quad (3.34)$$

A relação entre velocidade angular e parâmetros Euler vem de:

$$\dot{\boldsymbol{\omega}} = 2\mathbf{G}\dot{\mathbf{p}} \quad (3.35)$$

ou seja :

$$\begin{bmatrix} \omega_{(\xi)} \\ \omega_{(\psi)} \\ \omega_{(\zeta)} \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} -e_1 & e_0 & -e_3 & e_2 \\ -e_2 & e_3 & e_0 & -e_1 \\ -e_3 & -e_2 & e_1 & e_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{e}_0 \\ \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Novamente para aceleração angular temos :

$$\dot{\boldsymbol{\omega}} = 2\mathbf{G}\ddot{\mathbf{p}} \quad (3.37)$$

Inicialmente, pode parecer que os parâmetros de Euler tem pouca significado físico e que apenas sejam ferramentas matemáticas. Entretanto, quando se adquire um total domínio do assunto, sua relevância física se torna evidente. Notadamente para programas computacionais que trabalhem com orientação angular de corpos, tanto rígidos como deformáveis, o uso dos parâmetros de Euler pode simplificar drasticamente as formulações matemáticas.

## CAPÍTULO 4 ANÁLISE CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL

Este capítulo trata dos vínculos cinemáticos a serem desenvolvidos tanto para a posição e orientação absoluta de corpos no espaço, como para a posição e orientação relativa de corpos unidos por pares cinemáticos (ou juntas). Condições de paralelismo e ortogonalidade entre vetores são definidas para servirem como elementos básicos para caracterização dos vínculos cinemáticos. As equações de vínculo servem como ponto de partida para o desenvolvimento da análise cinemática tridimensional e representam uma biblioteca respeitável de modelos matemáticos dos pares cinemáticos no espaço. Para a execução da análise de velocidades e acelerações, são calculadas a primeira e a segunda derivadas de todas as equações de vínculo.

### 4.1 Vínculos relativos entre dois vetores

Vínculos cinemáticos entre pares de corpos são frequentemente caracterizados por condições de ortogonalidade ou paralelismo entre pares de vetores. As componentes de todos os vetores devem ser expressas num mesmo sistema de coordenadas, sendo que o mais natural é o sistema de coordenadas global. Pretende-se desenvolver condições analíticas e utilizá-las para definir uma biblioteca de pares cinemáticos.

#### 4.1.1 Dois tipos de vetores

**Tipo 1:** Um vetor pode ter módulo constante, como é o caso de um vetor que liga pontos de um mesmo corpo; ou pode ter módulo variável, se conectar pontos de diferentes corpos.

Na figura a seguir, o vetor  $\vec{S}_i$  é fixo ao corpo  $i$ , seu módulo é constante e sua orientação não se modifica em relação aos eixos  $\xi\eta\zeta$ . As componentes globais  $\vec{S}_i$  podem ser expressas de qualquer uma das formas a seguir :

$$\begin{aligned}
\mathbf{s}_i &= \mathbf{s}_i^B - \mathbf{s}_i^C \\
&= \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i'^B - \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i'^C \\
&= \mathbf{A}_i (\mathbf{s}_i'^B - \mathbf{s}_i'^C)
\end{aligned}
\tag{4.1}$$

onde  $\mathbf{s}_i'^B = [\xi^B \quad \eta^B \quad \zeta^B]^T$  e  $\mathbf{s}_i'^C = [\xi^C \quad \eta^C \quad \zeta^C]^T$  são conhecidos e constantes.

**Tipo 2:** Um vetor que liga dois pontos, um pertencente a um corpo  $i$  e outro a um corpo  $j$ , tal como o vetor  $\vec{d}$  na figura, sendo que suas componentes globais são:

$$\begin{aligned}
\mathbf{d} &= (\mathbf{r}_j + \mathbf{s}_j^B) - (\mathbf{r}_i + \mathbf{s}_i^B) \\
&= \mathbf{r}_j + \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j'^B - \mathbf{r}_i - \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i'^B
\end{aligned}
\tag{4.2}$$

Pode-se observar das duas equações anteriores que as componentes globais de um vetor não dependem da localização global de um corpo se o vetor está fixo ao corpo; contudo, as componentes globais de um vetor realmente dependem da posição global dos corpos se o vetor conectar pontos em dois corpos.

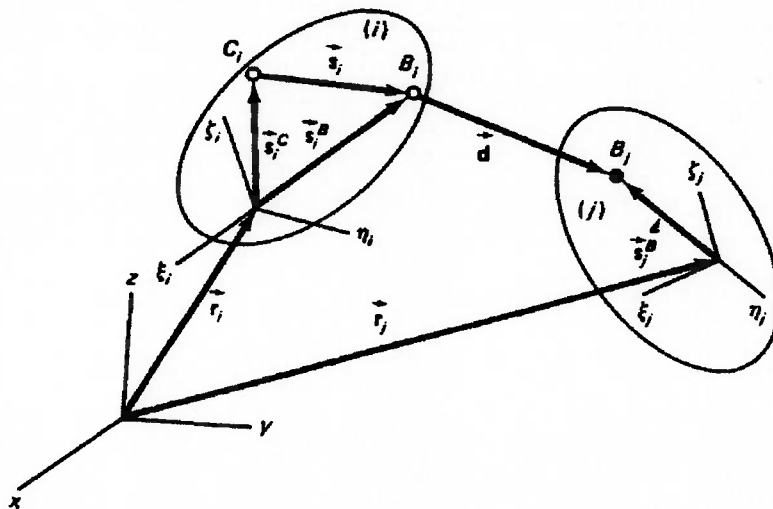


Figure 4.1 Dois tipos de vetores.

#### 4.1.2 Dois vetores ortogonais

Para especificar que dois vetores permanecem sempre ortogonais um ao outro, o produto escalar dos (entre os) dois vetores  $\vec{S}_i$  and  $\vec{S}_j$  deve ser zero.

$$\begin{aligned}\Phi^{(n1,1)} &\equiv \mathbf{s}_i^T \mathbf{s}_j \\ &= \mathbf{s}_i^T \mathbf{A}_i^T \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j' = 0\end{aligned}\quad (4.3)$$

Se o vetor  $\vec{d}$ , conectado entre os corpos  $i$  e  $j$ , for ortogonal a  $\vec{S}_i$ , então

$$\begin{aligned}\Phi^{(n2,1)} &\equiv \mathbf{s}_i^T \mathbf{d} \\ &= \mathbf{s}_i^T \mathbf{A}_i^T (\mathbf{r}_j + \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j'^B - \mathbf{r}_i - \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i'^B) = 0\end{aligned}\quad (4.4)$$

#### 4.1.3 Dois vetores paralelos

Para que dois vetores permaneçam paralelos, o produto vetorial dos (entre os) dois deve ser zero.

$$\begin{aligned}\Phi^{(p1,2)} &\equiv \vec{s}_i \times \mathbf{s}_j \\ &= \mathbf{A}_i \vec{s}_i' \times \mathbf{A}_i^T \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j' = 0\end{aligned}\quad (4.5)$$

Para o vetor  $\vec{d}$  conectado entre os corpos  $i$  e  $j$  e paralelo a  $\vec{S}_i$ , as equações de vínculo são

$$\begin{aligned}\Phi^{(p2,2)} &\equiv \vec{s}_i \times \mathbf{d} \\ &= \mathbf{A}_i \vec{s}_i' \times \mathbf{A}_i^T (\mathbf{r}_j + \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j'^B - \mathbf{r}_i - \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i'^B) = 0\end{aligned}\quad (4.6)$$

**Nota 1.** Se for definido um vínculo entre dois vetores com módulos constantes, ele será chamado de vínculo do tipo 1. Se for definido um vínculo entre dois vetores, sendo que um deles possui módulo constante e o outro variável, então esse vínculo será chamado de tipo 2.

**Nota 2.** Nas equações acima, (n1,1) significa que o vínculo é do tipo 1, entre vetores normais (ortogonais), constituindo-se numa única equação; (n2,1) significa que o vínculo é do tipo 2, entre vetores normais (ortogonais), com uma única equação; (p1,2) indica que o vínculo é do tipo 1, entre vetores paralelos, com 2 equações; (p2,2) indica que o vínculo é do tipo 2, entre vetores paralelos, com 2 equações.

**Nota 3.** A última equação vetorial fornece três equações escalares. Contudo, dentre as três somente duas são independentes. A seguir, é apresentada uma técnica de seleção do conjunto adequado de equações:



*Compare os valores absolutos de  $s_{(x)is}$ ,  $s_{(y)is}$  e  $s_{(z)is}$  e selecione duas equações dentre as três, que possuam os maiores termos. [8]P.189*

## 4.2 Vínculos relativos entre dois corpos

São desenvolvidas a seguir as equações de vínculo para vários pares cinemáticos inferiores comumente utilizados. A primeira e a segunda derivadas para análise de velocidades e aceleração são também apresentadas. Outros pares cinemáticos podem ter as suas equações de vínculo desenvolvidas de maneira similar. Estas equações estão dentro da categoria de vínculos holonômicos.

### 4.2.1 Junta esférica

Uma junta esférica, ou rótula, entre dois corpos  $i$  e  $j$  é mostrada na figura a seguir.

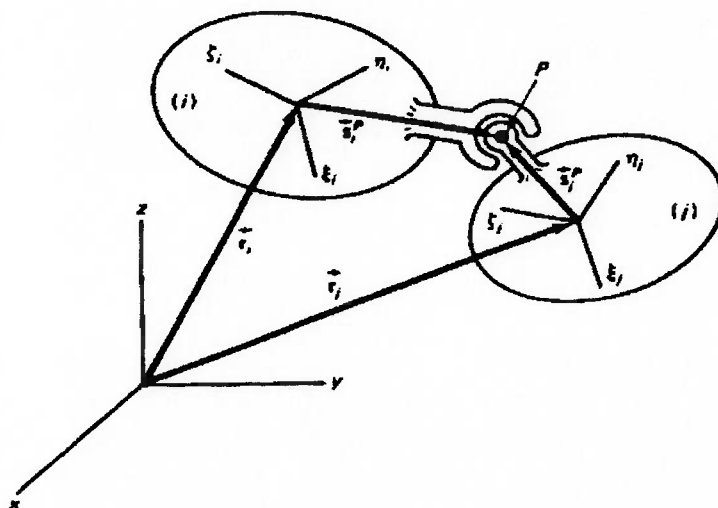


Figura 4.2 Junta esférica.

O centro de uma junta esférica é o ponto  $P$ , que possui coordenadas constantes com relação aos sistemas de coordenadas  $\xi_i \eta_i \zeta_i$  e  $\xi_j \eta_j \zeta_j$ . Assim, a equação de vínculo para este tipo de junta é

$$\Phi^{(s,3)} \equiv \mathbf{r}_i + \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i'^P - \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j'^P - \mathbf{r}_j = \mathbf{0} \quad (4.7)$$

Há três equações escalares presentes na equação vetorial acima. Portanto, existem três graus de liberdade relativa entre os dois corpos conectados por uma junta tridimensional.

As equações de velocidade podem ser obtidas a partir do cálculo das derivadas parciais da equação de vínculo acima em relação às coordenadas dos corpos  $i$  e  $j$ .

$$\Phi_{r_i} = \mathbf{I} \quad (4.8)$$

$$\Phi_{p_i} = 2\mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i'^P \quad (4.9)$$

$$\Phi_{r_j} = \mathbf{I} \quad (4.10)$$

$$\Phi_{p_j} = 2\mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j'^P \quad (4.11)$$

onde

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} -e_1 & e_0 & -e_3 & e_2 \\ -e_2 & e_3 & e_0 & -e_1 \\ -e_3 & -e_2 & e_1 & e_0 \end{bmatrix}$$

Portanto, as equações completas de velocidade são:

$$\mathbf{I} \dot{\mathbf{r}}_i + 2\mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i'^P \dot{\mathbf{p}}_i - 2\mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j'^P \dot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I} \dot{\mathbf{r}}_j = \mathbf{0} \quad (4.12)$$

Onde

$$\mathbf{r} = [x \quad y \quad z]^T$$

$$\dot{\mathbf{r}} = [\dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{z}]^T$$

$$\mathbf{p} = [e_0 \quad e_1 \quad e_2 \quad e_3]^T$$

$$\dot{\mathbf{p}} = [\dot{e}_0 \quad \dot{e}_1 \quad \dot{e}_2 \quad \dot{e}_3]^T$$

Nas equações de aceleração, os termos do lado esquerdo são os mesmos daqueles presentes nas equações de velocidade. A diferença está no lado direito:

$$\mathbf{I} \ddot{\mathbf{r}}_i + 2\mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i'^P \ddot{\mathbf{p}}_i - 2\mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j'^P \ddot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I} \ddot{\mathbf{r}}_j = -2\dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{s}_i'^P + 2\dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \mathbf{s}_j'^P \quad (4.13)$$

Onde

$$\ddot{\mathbf{r}} = [\ddot{x} \quad \ddot{y} \quad \ddot{z}]^T$$

$$\ddot{\mathbf{p}} = [\ddot{e}_0 \quad \ddot{e}_1 \quad \ddot{e}_2 \quad \ddot{e}_3]^T$$

e

$$\bar{\mathbf{s}} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & -\mathbf{s}^T \\ \mathbf{s} & -\tilde{\mathbf{s}} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{s}} = \begin{bmatrix} 0 & -s[3] & s[2] \\ s[3] & 0 & -s[1] \\ -s[2] & s[1] & 0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{G}} = \begin{bmatrix} -\dot{e}_1 & \dot{e}_0 & -\dot{e}_3 & \dot{e}_2 \\ -\dot{e}_2 & \dot{e}_3 & \dot{e}_0 & -\dot{e}_1 \\ -\dot{e}_3 & -\dot{e}_2 & \dot{e}_1 & \dot{e}_0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{L}} = \begin{bmatrix} -\dot{e}_1 & \dot{e}_0 & \dot{e}_3 & -\dot{e}_2 \\ -\dot{e}_2 & -\dot{e}_3 & \dot{e}_0 & \dot{e}_1 \\ -\dot{e}_3 & \dot{e}_2 & -\dot{e}_1 & \dot{e}_0 \end{bmatrix}$$

#### 4.2.2 Junta universal

A *junta universal* ou *de Hook* entre os corpos  $i$  e  $j$  é apresentada na figura a seguir.

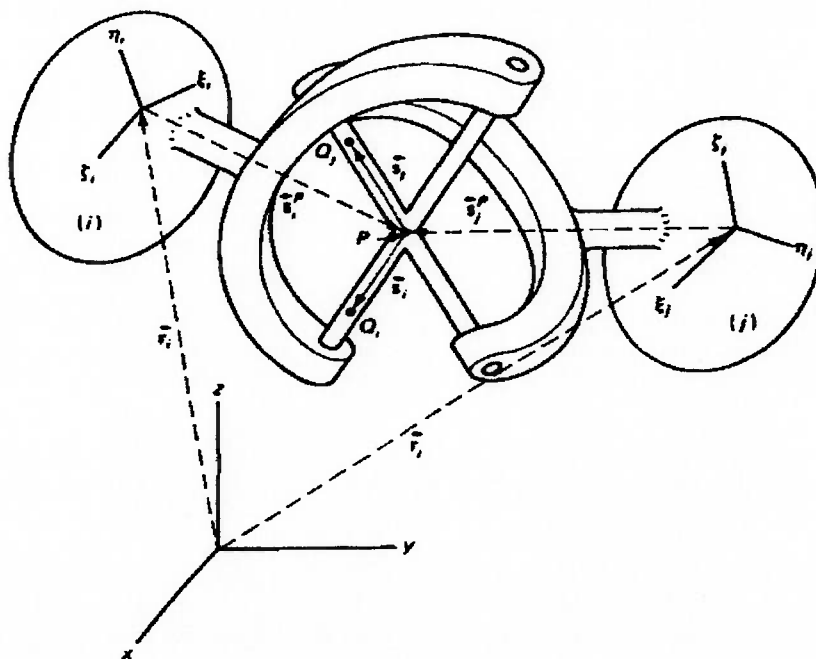


Figure 4.3 Junta universal.

Na cruzeta, uma de suas barras pode ser considerada como parte do corpo  $i$  e a outra do  $j$ . O ponto  $P$ , a intersecção dos eixos das barras, possui coordenadas constantes com relação aos sistemas de coordenadas fixos nos dois corpos. Desta forma, no ponto  $P$ , a equação de vínculo da junta esférica pode ser aplicada. Existe um outro vínculo presente devido ao fato dos vetores  $\mathbf{s}_i$  e  $\mathbf{s}_j$ , selecionados arbitrariamente nos eixos da cruzeta, permanecerem ortogonais. Portanto, as equações de vínculo para uma junta universal são

$$\Phi^{(s,3)} \equiv \mathbf{r}_i + \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i'^P - \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j'^P - \mathbf{r}_j = \mathbf{0} \quad (4.14)$$

$$\Phi^{(n1,1)} \equiv \mathbf{s}_i^T \mathbf{s}_j = 0 \quad (4.15)$$

Há quatro equações escalares presentes nas duas equações vetoriais acima. Assim, existem dois graus de liberdade relativa entre um par de corpos conectados por uma junta universal.

As equações de velocidade da junta universal são:

$$\mathbf{I} \dot{\mathbf{r}}_i + 2\mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i'^P \dot{\mathbf{p}}_i - 2\mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j'^P \dot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I} \dot{\mathbf{r}}_j = \mathbf{0} \quad (4.16)$$

e

$$2\mathbf{s}_j^T \mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i' \dot{\mathbf{p}}_i + 2\mathbf{s}_i^T \mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j' \dot{\mathbf{p}}_j = 0 \quad (4.17)$$

onde  $\mathbf{I}, \mathbf{G}, \mathbf{r}, \mathbf{p}, \mathbf{s}$  e suas derivadas são as mesmas daquelas da junta esférica.

Analogamente, as equações de aceleração são:

$$\mathbf{I} \ddot{\mathbf{r}}_i + 2\mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i'^P \ddot{\mathbf{p}}_i - 2\mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j'^P \ddot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I} \ddot{\mathbf{r}}_j = -2\dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{s}_i'^P + 2\dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \mathbf{s}_j'^P \quad (4.18)$$

e

$$2\mathbf{s}_j^T \mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i' \ddot{\mathbf{p}}_i + 2\mathbf{s}_i^T \mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j' \ddot{\mathbf{p}}_j = -2\mathbf{s}_i^T \dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \mathbf{s}_j' - 2\mathbf{s}_j^T \dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{s}_i' - 2\dot{\mathbf{s}}_i^T \dot{\mathbf{s}}_j \quad (4.19)$$

### 4.2.3 Junta de Revolução

Uma junta de revolução entre dois corpos  $i$  e  $j$  é apresentada na figura a seguir:

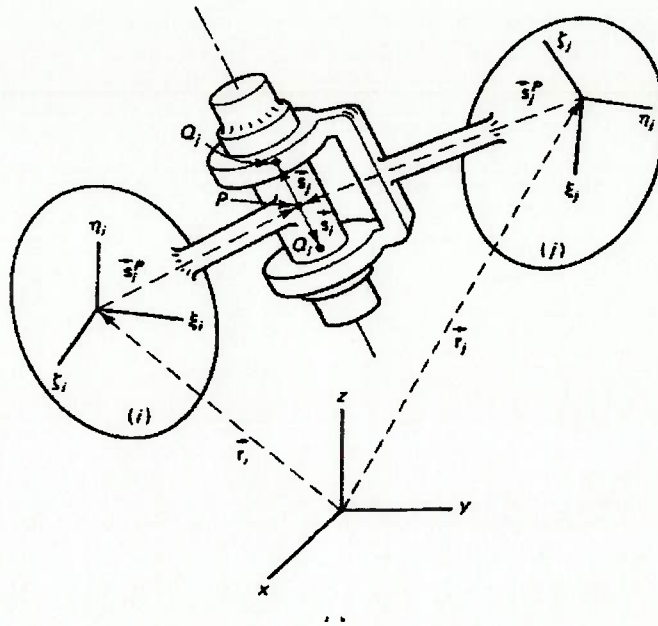


Figure 4.4 Junta de revolução.

Qualquer ponto no eixo da junta de revolução possui coordenadas constantes em relação aos dois sistemas de coordenadas locais. Desta forma, a equação da junta esférica pode ser imposta a um ponto arbitrário  $P$  situado no eixo da junta. Deve-se atentar para o fato de que os vetores  $s_i$  e  $s_j$  permanecem paralelos. Portanto, tem-se:

$$\Phi^{(s,3)} \equiv \mathbf{r}_i + \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i^{iP} - \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j^{jP} - \mathbf{r}_j = \mathbf{0} \quad (4.20)$$

$$\Phi^{(p1,2)} \equiv \tilde{\mathbf{s}}_i \mathbf{s}_j = 0 \quad (4.21)$$

Há cinco equações de vínculo para uma junta de revolução, o que permite somente um único grau de liberdade relativo entre dois corpos conectados por uma junta de revolução.

As equações de velocidade da junta de revolução são:

$$\mathbf{I} \dot{\mathbf{r}}_i + 2\mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i^{iP} \dot{\mathbf{p}}_i - 2\mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j^{jP} \dot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I} \dot{\mathbf{r}}_j = \mathbf{0} \quad (4.22)$$

e

$$-2\tilde{\mathbf{s}}_j \mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i^{iP} \dot{\mathbf{p}}_i + 2\tilde{\mathbf{s}}_i \mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j^{jP} \dot{\mathbf{p}}_j = \mathbf{0} \quad (4.23)$$

Analogamente, as equações de aceleração são:

$$\mathbf{I} \ddot{\mathbf{r}}_i + 2\mathbf{G}_i \bar{\mathbf{s}}_i^{iP} \ddot{\mathbf{p}}_i - 2\mathbf{G}_j \bar{\mathbf{s}}_j^{jP} \ddot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I} \ddot{\mathbf{r}}_j = -2\dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{s}_i^{iP} + 2\dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \mathbf{s}_j^{jP} \quad (4.24)$$

e

$$-2\tilde{s}_j G_i \bar{s}_i' \ddot{p}_i + 2\tilde{s}_i G_j \bar{s}_j' \ddot{p}_j = -2\tilde{s}_i \dot{G}_j \dot{L}_j^T s_j' + 2\tilde{s}_j \dot{G}_i \dot{L}_i^T s_i' - 2\tilde{s}_i \dot{s}_j \quad (4.25)$$

onde  $I, G, r, p$  e suas derivadas são as mesmas daquelas da junta esférica.

#### 4.2.4 Junta cilíndrica

Uma *junta cilíndrica* entre os corpos  $i$  e  $j$  é mostrada na figura a seguir. Os dois corpos vinculados podem mover-se ao longo de um eixo comum e é também permitido um movimento de rotação relativa em torno deste mesmo eixo.

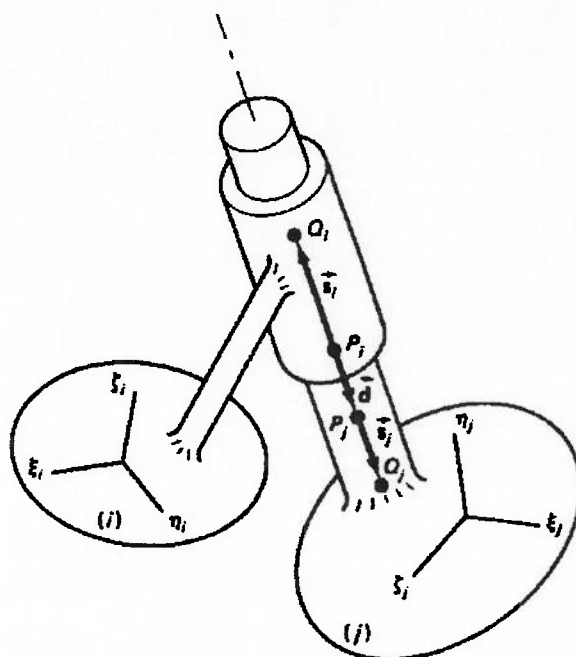


Figure 4.5 Junta cilíndrica.

Para desenvolver as equações de vínculo para a junta cilíndrica, podem ser arbitrariamente escolhidos quatro pontos no eixo da junta,  $P_i$  e  $Q_i$  no corpo  $i$  e  $P_j$  e  $Q_j$  no corpo  $j$ , conforme a figura acima. Os vetores  $s_i$  e  $s_j$  possuem módulo constante e  $d$ , módulo variável. É condição necessária que os vetores  $s_i$ ,  $s_j$  e  $d$  permaneçam alinhados. Portanto, a partir da condição de produto vetorial, tem-se:

$$\Phi^{(p1,2)} \equiv \tilde{s}_i s_j = 0 \quad (4.26)$$

$$\Phi^{(p2,2)} \equiv \tilde{s}_i d = 0 \quad (4.27)$$

Há quatro equações algébricas (escalares) de vínculo presentes nas duas equações vetoriais. Desta forma, existem dois graus de liberdade relativos entre os corpos conectados por uma junta cilíndrica.

As equações de velocidade são:

$$-2\tilde{s}_j \mathbf{G}_i \tilde{s}_i' \dot{\mathbf{p}}_i + 2\tilde{s}_i \mathbf{G}_j \tilde{s}_j' \dot{\mathbf{p}}_j = \mathbf{0} \quad (4.28)$$

e

$$-\tilde{s}_i \dot{\mathbf{r}}_i - (2\tilde{s}_i \mathbf{G}_i \tilde{s}_i'^B + 2\tilde{\mathbf{d}} \mathbf{G}_i \tilde{s}_i') \dot{\mathbf{p}}_i + \tilde{s}_i \dot{\mathbf{r}}_j + 2\tilde{s}_j \mathbf{G}_j \tilde{s}_j'^B \dot{\mathbf{p}}_j = \mathbf{0} \quad (4.29)$$

Analogamente, as equações de aceleração são:

$$-2\tilde{s}_j \mathbf{G}_i \tilde{s}_i' \ddot{\mathbf{p}}_i + 2\tilde{s}_i \mathbf{G}_j \tilde{s}_j' \ddot{\mathbf{p}}_j = -2\tilde{s}_i \dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \dot{\mathbf{s}}_j' + 2\tilde{s}_j \dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \dot{\mathbf{s}}_i' - 2\tilde{s}_i \dot{\mathbf{s}}_j \quad (4.30)$$

e

$$\begin{aligned} -\tilde{s}_i \dot{\mathbf{r}}_i - (2\tilde{s}_i \mathbf{G}_i \tilde{s}_i'^B + 2\tilde{\mathbf{d}} \mathbf{G}_i \tilde{s}_i') \ddot{\mathbf{p}}_i + \tilde{s}_i \dot{\mathbf{r}}_j + 2\tilde{s}_j \mathbf{G}_j \tilde{s}_j'^B \ddot{\mathbf{p}}_j = \\ -\tilde{s}_i (-2\dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \dot{\mathbf{s}}_j'^B + 2\dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \dot{\mathbf{s}}_i'^B) + 2\tilde{\mathbf{d}} \dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \dot{\mathbf{s}}_i' - 2\tilde{s}_i \dot{\mathbf{d}} \end{aligned} \quad (4.31)$$

onde  $\mathbf{L}, \mathbf{G}, \mathbf{r}, \mathbf{p}$  e suas derivadas são as mesmas daquelas da junta esférica.

#### 4.2.5 Junta prismática (ou de translação)

Uma junta prismática ou de translação entre os corpos  $i$  e  $j$  é mostrada na figura a seguir:

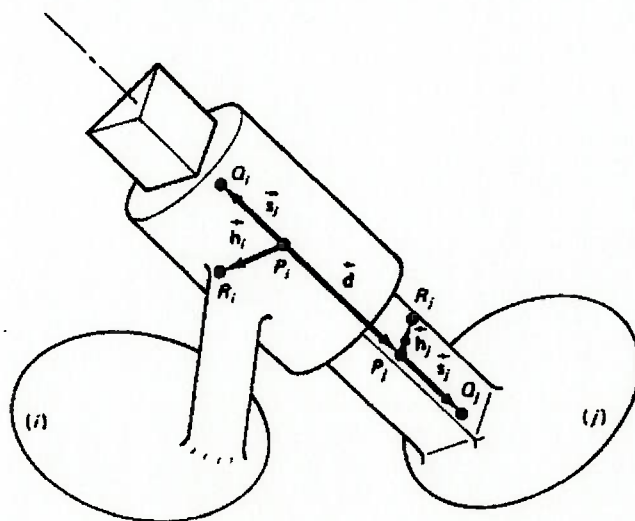


Figure 4.6 Junta prismática.

A junta prismática é semelhante à junta cilíndrica com a exceção de que os corpos não podem executar movimento relativo de rotação. Assim, as equações da junta cilíndrica podem ser aplicadas e uma equação adicional de vínculo deve ser introduzida.

Dois vetores ortogonais  $h_i$  e  $h_j$  nos corpos  $i$  e  $j$ , conforme mostra a figura anterior, devem permanecer ortogonais. Portanto, as equações de vínculo para uma junta prismática são:

$$\Phi^{(p1,2)} \equiv \tilde{s}_i s_j = 0 \quad (4.31)$$

$$\Phi^{(p2,2)} \equiv \tilde{s}_i d = 0 \quad (4.32)$$

$$\Phi^{(n1,1)} \equiv h_i^T h_j = 0 \quad (4.33)$$

Há cinco equações algébricas (escalares) presentes nas três equações vetoriais. Desta forma, resta apenas um único grau de liberdade relativo entre os dois corpos conectados por uma junta prismática.

As equações de velocidade são:

$$-2\tilde{s}_j G_i \bar{s}_i' \dot{p}_i + 2\tilde{s}_i G_j \bar{s}_j' \dot{p}_j = 0 \quad (4.34)$$

e

$$-\tilde{s}_i \dot{r}_i - (2\tilde{s}_i G_i \bar{s}_i'^B + 2\tilde{d} G_i \bar{s}_i') \dot{p}_i + \tilde{s}_i \dot{r}_j + 2\tilde{s}_j G_j \bar{s}_j'^B \dot{p}_j = 0 \quad (4.35)$$

e

$$2h_j^T G_i \bar{h}_i' \dot{p}_i + 2h_i^T G_j \bar{h}_j' \dot{p}_j = 0 \quad (4.36)$$

Analogamente, as equações de aceleração são:

$$-2\tilde{s}_j G_i \bar{s}_i' \ddot{p}_i + 2\tilde{s}_i G_j \bar{s}_j' \ddot{p}_j = -2\tilde{s}_i \dot{G}_j \dot{L}_j^T s_j' + 2\tilde{s}_j \dot{G}_i \dot{L}_i^T s_i' - 2\tilde{s}_i \dot{s}_j \quad (4.37)$$

e

$$\begin{aligned} -\tilde{s}_i \dot{r}_i - (2\tilde{s}_i G_i \bar{s}_i'^B + 2\tilde{d} \dot{G}_i \bar{s}_i') \ddot{p}_i + \tilde{s}_i \dot{r}_j + 2\tilde{s}_j G_j \bar{s}_j'^B \ddot{p}_j = \\ -\tilde{s}_i (-2\dot{G}_j \dot{L}_j^T s_j'^B + 2\dot{G}_i \dot{L}_i^T s_i'^B) + 2\tilde{d} \dot{G}_i \dot{L}_i^T s_i' - 2\tilde{s}_i \dot{d} \end{aligned} \quad (4.38)$$

e

$$2h_j^T G_i \bar{h}_i' \ddot{p}_i + 2h_i^T G_j \bar{h}_j' \ddot{p}_j = -2h_i^T \dot{G}_j \dot{L}_j^T h_j' - 2h_j^T \dot{G}_i \dot{L}_i^T h_i' - 2h_i^T \dot{h}_j \quad (4.39)$$

onde  $I, G, r, p, s$  e suas derivadas são as mesmas daquelas da junta junta esférica.



#### 4.2.6 Junta helicoidal

Uma junta helicoidal entre os corpos  $i$  e  $j$  é mostrada na figura a seguir:

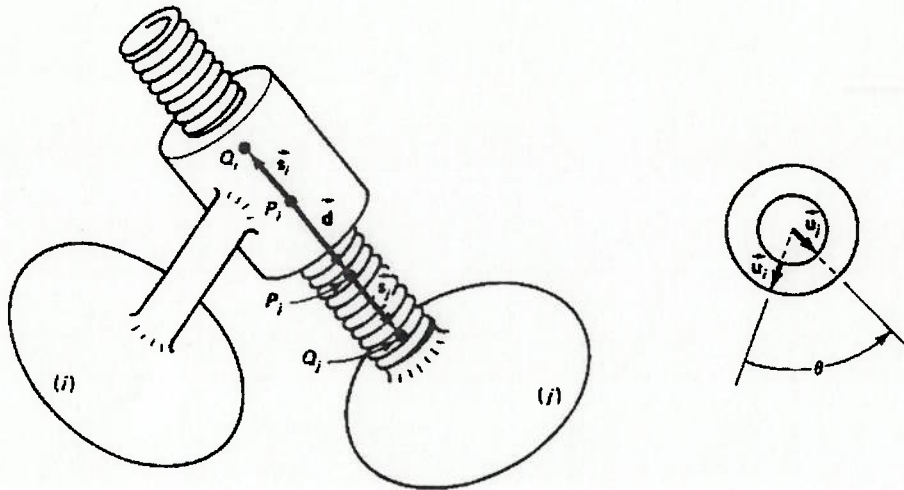


Figure 4.7 Junta helicoidal..

Os dois corpos podem rotacionar e transladar em relação a um eixo comum. No entanto, a rotação e a translação estão relacionadas pelo passo da hélice da junta. Portanto, para formular as equações desta junta, ao lado das quatro equações que descrevem uma junta cilíndrica, é preciso incluir uma quinta equação que represente a relação entre a rotação e a translação relativas das duas partes da junta. Com esta finalidade definem-se dois vetores unitários  $u_i$  e  $u_j$ , representados na figura, ortogonais ao eixo da junta e ligados, respectivamente, aos corpos  $i$  e  $j$ .

O angulo inicial entre  $u_i$  e  $u_j$  é  $\theta^0$  e o ângulo instantâneo entre os dois vetores é indicado por  $\theta$ , então  $\theta - \theta^0$  é a rotação relativa entre os dois corpos. Similarmente, a magnitude inicial do vetor  $d$  é  $d^0$  e sua magnitude instantânea é indicada por  $d$ , então  $d - d^0$  é o deslocamento em translação relativa entre os corpos  $i$  e  $j$ . Portanto as equações de vínculo para a junta helicoidal podem ser escritas como:

$$\Phi^{(p1,2)} \equiv \tilde{s}_i s_j = 0 \quad (4.40)$$

$$\Phi^{(p2,2)} \equiv \tilde{s}_i d = 0 \quad (4.41)$$

$$\Phi^{(r,1)} \equiv (d - d^0) - \alpha(\theta - \theta^0) = 0 \quad (4.42)$$

onde  $\alpha$  é o ângulo de hélice da junta.

Expressando o ângulo  $\theta$  pelos vetores  $\mathbf{u}_i$  e  $\mathbf{u}_j$ , uma equação adicional de vínculo pode ser obtida:

$$\Phi^{(\theta,1)} \equiv \mathbf{u}_i^T \mathbf{u}_j - \cos \theta = 0 \quad (4.43)$$

Uma vez que a terceira equação da junta helicoidal é algébrica, sua derivada deve ser calculada como segue:

$$\begin{aligned} \mathbf{d}^2 &= \vec{d}^T \vec{d} \\ 2\mathbf{d}\dot{\mathbf{d}} &= \dot{\vec{d}}^T \vec{d} + \vec{d}^T \dot{\vec{d}} \\ \dot{\mathbf{d}} &= \frac{\dot{\vec{d}}^T \vec{d}}{\mathbf{d}} \end{aligned} \quad (4.44)$$

e

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{d}}\dot{\mathbf{d}} + \mathbf{d}\ddot{\mathbf{d}} &= \ddot{\vec{d}}^T \vec{d} + \dot{\vec{d}}^T \dot{\vec{d}} \\ \ddot{\mathbf{d}} &= \frac{\ddot{\vec{d}}^T \vec{d} + \dot{\vec{d}}^T \dot{\vec{d}} - \dot{\mathbf{d}}^2}{\mathbf{d}} \end{aligned} \quad (4.45)$$

Também

$$\begin{aligned} \vec{d} &= \mathbf{r}_j + \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j^{p'} - \mathbf{r}_i - \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i^{p'} \\ \dot{\vec{d}} &= \mathbf{I}\dot{\mathbf{r}}_j + 2\mathbf{G}_j \mathbf{s}_j^{p'} \dot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I}\dot{\mathbf{r}}_i - 2\mathbf{G}_i \mathbf{s}_i^{p'} \dot{\mathbf{p}}_i \\ \ddot{\vec{d}} &= \mathbf{I}\ddot{\mathbf{r}}_j + 2\mathbf{G}_j \mathbf{s}_j^{p'} \ddot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I}\ddot{\mathbf{r}}_i - 2\mathbf{G}_i \mathbf{s}_i^{p'} \ddot{\mathbf{p}}_i - (-2\dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{s}_i^{p'} - 2\dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \mathbf{s}_j^{p'}) \end{aligned} \quad (4.46)$$

Portanto

$$\dot{\mathbf{d}} = \frac{\mathbf{I}\dot{\mathbf{r}}_j + 2\mathbf{G}_j \mathbf{s}_j^{p'} \dot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I}\dot{\mathbf{r}}_i - 2\mathbf{G}_i \mathbf{s}_i^{p'} \dot{\mathbf{p}}_i}{|\mathbf{d}|} (\mathbf{r}_j + \mathbf{A}_j \mathbf{s}_j^{p'} - \mathbf{r}_i - \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i^{p'}) \quad (4.47)$$

A quarta equação pode ser deduzida como segue-se:

$$\begin{aligned} 2\mathbf{u}_j^T \mathbf{G}_i \mathbf{u}_i \dot{\mathbf{p}}_i + 2\mathbf{u}_i^T \mathbf{G}_j \mathbf{u}_j \dot{\mathbf{p}}_j - (-\sin \theta) \dot{\theta} &= 0 \\ \dot{\theta} &= \frac{2\mathbf{u}_j^T \mathbf{G}_i \mathbf{u}_i \dot{\mathbf{p}}_i + 2\mathbf{u}_i^T \mathbf{G}_j \mathbf{u}_j \dot{\mathbf{p}}_j}{-\sin \theta} \end{aligned} \quad (4.48)$$

e a segunda derivada calcula-se:

$$\begin{aligned} 2\mathbf{u}_j^T \mathbf{G}_i \mathbf{u}_i \ddot{\mathbf{p}}_i + 2\mathbf{u}_i^T \mathbf{G}_j \mathbf{u}_j \ddot{\mathbf{p}}_j - [(-\cos \theta) \dot{\theta}^2 + (-\sin \theta) \ddot{\theta}] &= \\ \mathbf{u}_i^T (-2)\dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \mathbf{u}_j + \mathbf{u}_j^T (-2)\dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{u}_i - 2\dot{\mathbf{u}}_i^T \dot{\mathbf{u}}_j & \end{aligned} \quad (4.49)$$

isto é:

$$\ddot{\theta} = \frac{\mathbf{u}_i^T (-2)\dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{u}'_j + \mathbf{u}_j^T (-2)\dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_j^T \mathbf{u}'_i - 2\dot{\mathbf{u}}_i^T \dot{\mathbf{u}}_j - 2\mathbf{u}_j^T \mathbf{G}_i \mathbf{u}'_i \ddot{\mathbf{p}}_i + 2\mathbf{u}_i^T \mathbf{G}_j \mathbf{u}'_j \ddot{\mathbf{p}}_j - \cos\theta \dot{\theta}^2}{\sin\theta} \quad (4.50)$$

Finalmente as equações de velocidade são:

$$-2\tilde{\mathbf{s}}_j \mathbf{G}_i \tilde{\mathbf{s}}'_i \dot{\mathbf{p}}_i + 2\tilde{\mathbf{s}}_i \mathbf{G}_j \tilde{\mathbf{s}}'_j \dot{\mathbf{p}}_j = 0 \quad (4.51)$$

e

$$-\tilde{\mathbf{s}}_i \dot{\mathbf{r}}_i - (2\tilde{\mathbf{s}}_i \mathbf{G}_i \tilde{\mathbf{s}}_i'^B + 2\tilde{\mathbf{d}} \mathbf{G}_i \tilde{\mathbf{s}}'_i) \dot{\mathbf{p}}_i + \tilde{\mathbf{s}}_i \dot{\mathbf{r}}_j + 2\tilde{\mathbf{s}}_i \mathbf{G}_j \tilde{\mathbf{s}}_j'^B \dot{\mathbf{p}}_j = 0 \quad (4.52)$$

e

$$\frac{(\mathbf{I} \dot{\mathbf{r}}_j + 2\mathbf{G}_j \mathbf{s}'_j \dot{\mathbf{p}}_j - \mathbf{I} \dot{\mathbf{r}}_i - 2\mathbf{G}_i \mathbf{s}'_i \dot{\mathbf{p}}_i) \tilde{\mathbf{d}}}{d} - \alpha \left( \frac{2\mathbf{u}_j^T \mathbf{G}_i \mathbf{u}'_i \dot{\mathbf{p}}_i + 2\mathbf{u}_i^T \mathbf{G}_j \mathbf{u}'_j \dot{\mathbf{p}}_j}{-\sin\theta} \right) = 0 \quad (4.53)$$

Similarmente as equações de aceleração são:

$$-2\tilde{\mathbf{s}}_j \mathbf{G}_i \tilde{\mathbf{s}}'_i \ddot{\mathbf{p}}_i + 2\tilde{\mathbf{s}}_i \mathbf{G}_j \tilde{\mathbf{s}}'_j \ddot{\mathbf{p}}_j = -2\tilde{\mathbf{s}}_i \dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \mathbf{s}'_j + 2\tilde{\mathbf{s}}_j \dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{s}'_i - 2\tilde{\mathbf{s}}_i \dot{\mathbf{s}}_j \quad (4.54)$$

e

$$\begin{aligned} -\tilde{\mathbf{s}}_i \dot{\mathbf{r}}_i - (2\tilde{\mathbf{s}}_i \mathbf{G}_i \tilde{\mathbf{s}}_i'^B + 2\tilde{\mathbf{d}} \dot{\mathbf{G}}_i \tilde{\mathbf{s}}'_i) \ddot{\mathbf{p}}_i + \tilde{\mathbf{s}}_i \dot{\mathbf{r}}_j + 2\tilde{\mathbf{s}}_i \dot{\mathbf{G}}_j \tilde{\mathbf{s}}_j'^B \dot{\mathbf{p}}_j = \\ -\tilde{\mathbf{s}}_i (-2\dot{\mathbf{G}}_j \dot{\mathbf{L}}_j^T \mathbf{s}'_j + 2\dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{s}'_i) + 2\tilde{\mathbf{d}} \dot{\mathbf{G}}_i \dot{\mathbf{L}}_i^T \mathbf{s}'_i - 2\tilde{\mathbf{s}}_i \dot{\mathbf{d}} \end{aligned} \quad (4.55)$$

e finalmente a última é:

$$\ddot{\mathbf{d}} - \alpha \ddot{\theta} = 0 \quad (4.56)$$

onde  $\mathbf{I}, \mathbf{G}, \mathbf{r}, \mathbf{p}, \mathbf{s}$  e suas derivadas são as mesmas que aquelas calculadas para o par ou junta esférica.

#### 4.2.7 Vínculos Simplificados

Os vínculos simplificados descrevem certas condições cinemáticas tais como movimento de deslizamento ou o movimento angular de um corpo rígido enquanto uma ou mais das coordenadas do corpo permanecem constantes. Além desses casos um corpo imóvel, como um chassis ou o solo pode ser descrito utilizando todas as seis equações de vínculo simplificado, isto é:

$$\begin{aligned}
\Phi &\equiv x_i - c_1 = 0 \\
\Phi &\equiv y_i - c_2 = 0 \\
\Phi &\equiv z_i - c_3 = 0 \\
\Phi &\equiv \alpha_i - c_4 = 0 \\
\Phi &\equiv \beta_i - c_5 = 0 \\
\Phi &\equiv \gamma_i - c_6 = 0
\end{aligned}
\tag{4.57}$$

onde  $\alpha, \beta, \gamma$  são ângulos medidos como rotações em torno dos eixos  $x, y, z$  respectivamente, e  $c_1 \dots c_6$  são constantes.

As equações de velocidade e aceleração escrevem-se:

$$\begin{aligned}
\dot{x} &= 0 & \ddot{x} &= 0 \\
\dot{y} &= 0 & \ddot{y} &= 0 \\
\dot{z} &= 0 & \ddot{z} &= 0 \\
\dot{\alpha} &= 0 & \ddot{\alpha} &= 0 \\
\dot{\beta} &= 0 & \ddot{\beta} &= 0 \\
\dot{\gamma} &= 0 & \ddot{\gamma} &= 0
\end{aligned}
\tag{4.58}$$

#### 4.2.8 Motores ou Acionadores

Motores e acionadores definem rotações e translações de corpos que são parte do sistema mecânico em estudo. As equações que definem esses movimentos são:

$$\begin{aligned}
\Phi &\equiv x_i - d_1(t) = 0 & x &= d_1(t) = 0.5A_1t^2 + B_1t + C_1 \\
\Phi &\equiv y_i - d_2(t) = 0 & y &= d_2(t) = 0.5A_2t^2 + B_2t + C_2 \\
\Phi &\equiv z_i - d_3(t) = 0 & z &= d_3(t) = 0.5A_3t^2 + B_3t + C_3 \\
\Phi &\equiv \alpha_i - d_4(t) = 0 & \alpha &= d_4(t) = 0.5A_4t^2 + B_4t + C_4 \\
\Phi &\equiv \beta_i - d_5(t) = 0 & \beta &= d_5(t) = 0.5A_5t^2 + B_5t + C_5 \\
\Phi &\equiv \gamma_i - d_6(t) = 0 & \gamma &= d_6(t) = 0.5A_6t^2 + B_6t + C_6
\end{aligned}
\tag{4.59}$$

onde  $A_1 \dots A_6, B_1 \dots B_6, C_1 \dots C_6$  são constantes e  $t$  é o tempo

As equações de velocidade são:

$$\begin{aligned}
\dot{x} &= A_1t + B_1 \\
\dot{y} &= A_2t + B_2 \\
\dot{z} &= A_3t + B_3 \\
\dot{\alpha} &= A_4t + B_4 \\
\dot{\beta} &= A_5t + B_5 \\
\dot{\gamma} &= A_6t + B_6
\end{aligned}
\tag{4.60}$$

As equações de aceleração escrevem-se:

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= A_1 \\ \ddot{y} &= A_2 \\ \ddot{z} &= A_3 \\ \ddot{\alpha} &= A_4 \\ \ddot{\beta} &= A_5 \\ \ddot{\gamma} &= A_6\end{aligned}\tag{4.61}$$

Utilizando parâmetros de Euler, a posição angular, a velocidade angular e a aceleração angular podem ser expressas como:

$$e_i - \sin \frac{\theta}{2} = 0\tag{4.62}$$

$$\dot{e}_i = \frac{1}{2} e_0 \dot{\theta}\tag{4.63}$$

$$\ddot{e}_i = \frac{1}{2} \dot{e}_0 \dot{\theta} + \frac{1}{2} e_0 \ddot{\theta}\tag{4.64}$$

#### 4.3 Análise de Posição, Velocidade e Aceleração.

Esta dissertação, tanto nas análises de velocidade como de aceleração, difere da sistemática utilizada em Nikravesh [8] e Haug [9], pois continua utilizando o conjunto das coordenadas generalizadas baseadas em parâmetros de Euler durante todas as etapas de cálculo. Já os autores das mencionadas referências usam as variáveis  $\omega$  e  $\dot{\omega}$  nas equações de velocidade e aceleração, em lugar dos parâmetros de Euler. Com isto a equação de normalização dos parâmetros de Euler deixa de ser considerada nessas análises. Entretanto, ao preparar um código computacional de maior escala parece mais fácil e mais claro continuar com uso dos parâmetros de Euler, já que isto permite uma unificação dos métodos de cálculo. Embora esta metodologia aumente uma equação para cada elemento, a matriz jacobiana será mantida a mesma durante as três etapas das análises de posição, velocidade e aceleração. Isto pode significar uma respeitável economia de área de armazenamento.

As análises de velocidade e aceleração para um sistema mecânico requerem a solução de um sistema linear de equações algébricas. Já a análise de posições, ainda

que trabalhando a partir de um sistema não linear de equações algébricas, irá resolvê-lo utilizando um método que implica na solução reiterada de sistemas lineares. Portanto, em qualquer das etapas da análise - posição, velocidade, aceleração - sistemas algébricos lineares deverão ser resolvidos.

Nesta dissertação, o método chamado de Fatoração L-U com Pivotamento será utilizado na solução dessas equações lineares.

- **Pivotamento**

O método de eliminação de Gauss, utilizado na solução de sistemas lineares algébricos, baseia-se na idéia de eliminar uma variável por vez. As etapas do método são: (1) eliminações sucessivas que transformem a matriz **A** dos coeficientes em uma matriz triangular superior, e (2) substituições sucessivas, as quais permitem resolver para a variável **x**.

No primeiro passo, o algoritmo deixa de funcionar se o coeficiente do elemento de pivotamento  $a_{jj}$  for nulo ou muito pequeno. Conseqüentemente a precisão dos resultados é seriamente afetada pela ordem de eliminação das variáveis durante a primeira etapa. No processo de *pivotamento* um algoritmo reordena as equações de modo a melhorar a precisão dos resultados.

### **Factoração L-U**

O método de fatoração L-U é uma forma compacta de operar o método de eliminação de Gauss sobre uma matriz **A**. Após a operação ser completada, o sistema de equações  $Ax=c$  pode ser resolvido eficientemente para qualquer vetor **c**.

Para qualquer matriz não singular **A**, pode-se demonstrar que existem uma matriz triangular superior **U**, com elementos da diagonal principal não nulos, e uma matriz triangular inferior **L**, com elementos unitários na diagonal principal, tais que:

$$A = LU$$

O processo de decompor  $A$  nos fatores do produto  $LU$  é chamado de *fatoração L-U*. Uma vez obtida a decomposição a equação:

$$Ax = LUx = 0$$

resolve-se transformando-a em:

$$Ly = c$$

e

$$Ux = y$$

$y$  é calculado primeiro e depois  $x$ .

- **Métodos Numéricos**

Na análise de posição de sistemas mecânicos um sistema de equações algébricas não-lineares precisa ser resolvido.

Nesta dissertação, empregou-se o método de Newton-Raphson, combinado com a fatoração L-U com pivotamento para resolver sistemas não lineares de equações algébricas.

## CAPÍTULO 5 PROGRAMA

Um programa de computador para análise cinemática de sistemas mecânicos usualmente executa 4 funções básicas como segue :

1. Ler os dados de entrada do sistema mecânico do arquivo de entrada, ou diretamente do usuário.
2. Gerar as equações que governam o mecanismo.
3. Resolver as equações numericamente, provendo as equações em cada instante de tempo.
4. Comunicar os resultados de posição, velocidade e aceleração de cada corpo e cada ponto de interesse do usuário.

O primeiro passo é a fase de entrada, os segundo e terceiro são as fases de análise e o quarto é a fase de saída.

Nesta dissertação , o programa YOUNG é desenvolvido em linguagem TURBO PASCAL para o uso de análise cinemática de mecanismos espaciais. O programa na sua totalidade inclui 4 unidades, 32 procedimentos e aproximadamente 3500 linhas. O programa principal é chamado YOUNG0, enquanto as quatro 4 unidades são chamadas YOUNG1, YOUNG2, YOUNG3, YOUNG4.

O programa principal inicialmente indica ao usuário as possibilidades de entrada de dados : digitando via teclado ou por meio de arquivo de entrada com todos os dados. Então ele lê alguns dados principais do sistema mecânico, e verifica se o número de equações de vínculo é igual ao de coordenadas. Se 'NO', uma mensagem de erro será apresentada na tela e a execução será interrompida; se 'YES' então o programa principal chamará a unidade YOUNG1 para detalhar a entrada do mecanismo. Após retornar, o programa principal chamará a unidade YOUNG2 para a análise cinemática. Durante o processo de análise, a unidade



YOUNG2 chamará a unidade YOUNG3 e YOUNG4 que incluem procedimentos para análises de vários tipos de juntas mecânicas.

A construção do programa YOUNG está descrito esquematicamente abaixo:

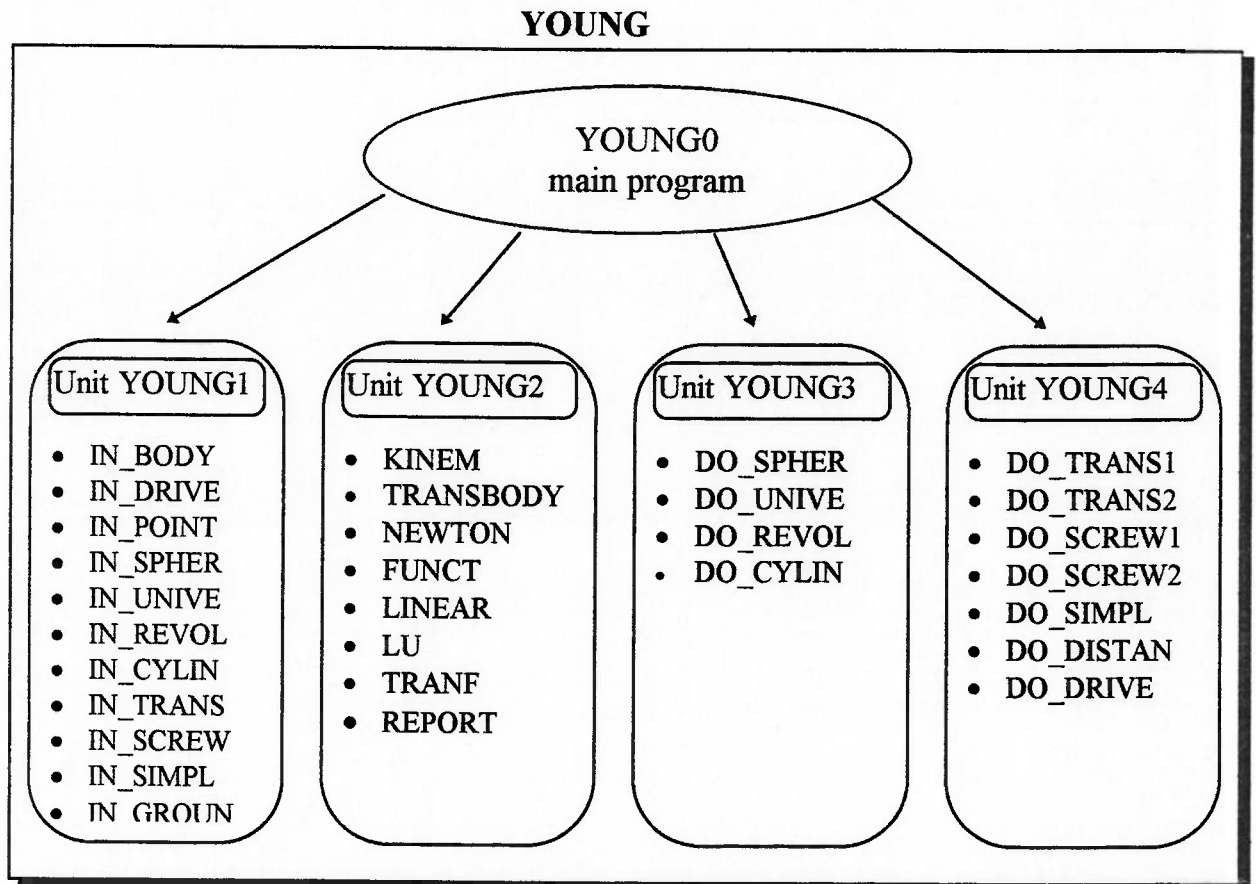


Figura 5.1 Construção do YOUNG

## 5.1 Entrada

O programa principal YOUNG\_0 inicialmente lê os dados como segue :

NBODY	Número de corpos no sistema, incluindo o solo.
NSPHER	Número de juntas esféricas
NUNIVE	Número de juntas universais(Hook)
NREVOL	Número de juntas de rotação
NCYLIN	Número de juntas cilíndricas
NTRANS	Número de juntas prismáticas
NSCREW	Número de juntas helicoidal

NSIMPL	Número de vínculos simplificados
NDISTAN	Número de vínculos de distâncias
NGROUN	Números de corpos fixos (ou considerados como) ao solo
NDRIVE	Número de acionamentos
NPOINT	Número de pontos de interesse.

Então o programa principal calcula o número total de equações de vínculo para comparar com o das coordenadas. Se os dois números não são iguais, uma mensagem de erro “\*\*\*INPUT ERROR\*\*\* Number of equations =\_\_ ; Number of coordinates =\_\_ ” será apresentada ao usuário; em contrário, o programa principal chamará a unidade YOUNG1 que inclui procedimentos para ler os dados de cada junta específica. Estes procedimentos são :

- PROCEDURE IN\_BODY  
lê as coordenadas globais iniciais, parâmetros de Euler de todos os corpos
- PROCEDURE IN\_DRIVE  
lê os dados dos vínculos de acionamentos
- PROCEDURE IN\_POINT  
lê dados dos pontos de interesse
- PROCEDURE IN\_SPHER  
lê dados da junta esférica
- PROCEDURE IN\_UNIVE  
lê dados da junta universal
- PROCEDURE IN\_REVOL  
lê dados da junta de rotação
- PROCEDURE IN\_CYLIN  
lê dados da junta cilíndrica
- PROCEDURE IN\_TRANS  
lê dados da junta prismática
- PROCEDURE IN\_SCREW

- lê dados da junta helicoidais
- PROCEDURE IN\_SIMPL
  - lê dados dos vínculos simplificadas
- PROCEDURE IN\_DISTAN
  - lê dados dos vínculos de distâncias
- PROCEDURE IN\_GROUN
  - lê dados de vínculo de corpos estacionáís

Finalmente o program principal lerá os parâmetros de tempo:

“ STARTING TIME:  $T_0$ ; FINAL TIME:  $T_e$ ; TIME INCREMENT:  $dT$ ”

e outros três importantes dados :

NRMAX      Número máximo de iterações executadas pelo algoritmo de  
Newton-Raphson em cada intervalo de tempo

FEPS        Erro máximo permitido para violação dos vínculos

EPSLU      Erro de tolerância para o algoritmo de fatorização L-U

Nesta dissertação, os três valores são definidos genericamente como : 250, 0.0001 e 0.00001 respectivamente.

## 5.2 Análise Cinemática

Após o término da leitura dos dados de entrada, o programa principal chama a unidade YOUNG2 para a análise cinemática que é controlada pelo procedimento KINEM.

- Procedure KINEM. Este procedimento faz a análise cinemática de acordo com a variável de tempo  $T$  do tempo inicial  $T_0$  ao tempo final  $T_e$  em intervalos  $dT$ . Em cada intervalo de tempo, o procedimento executa a análise de posição, velocidade e aceleração, e informa o resultado chamando o procedimento REPORT. Dois “flags” são ajustados por este procedimento :

- JACOB** Um “flag” para o cálculo da matrix jacobiana.  
 =0: Não é necessário o cálculo da Matriz Jacobiana.  
 >0: A Matriz Jacobiana deve ser calculada.
- IFNCT** Um “flag” para o cálculo das equações de vínculo.  
 =0: Nenhuma função precisa ser calculada.  
 =1: Equações de vínculo devem ser calculada.  
 =2: O lado direito das equações de velocidade devem ser calculada.  
 =3: O lado direito das equações de aceleração devem ser calculada.

A seguinte figura apresenta como o procedimento KINEM trabalha :

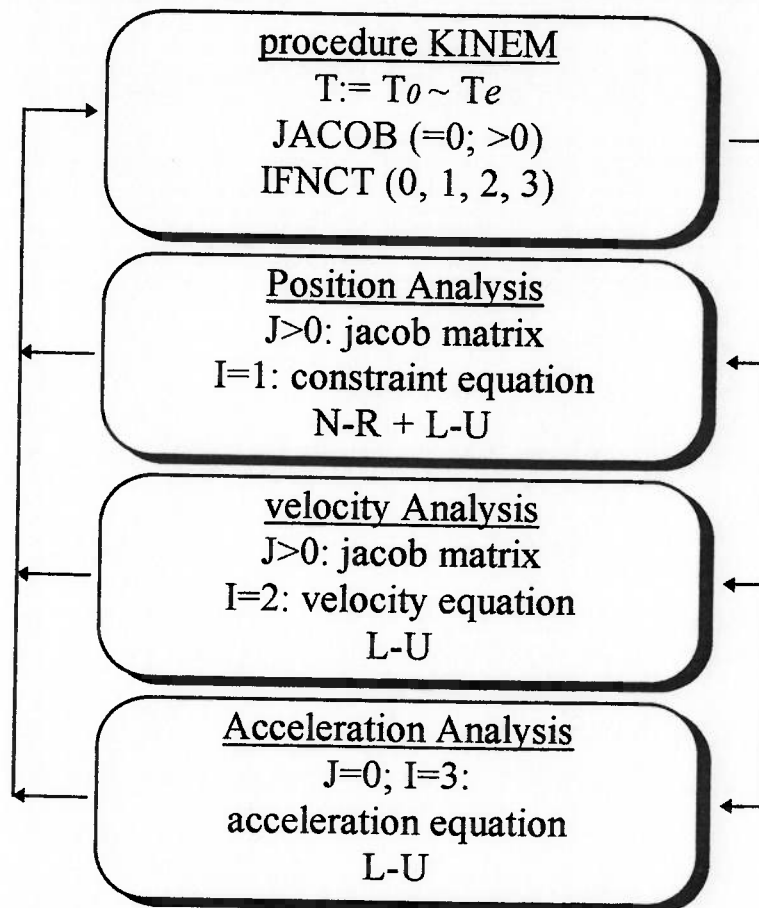


Figure 5.2 Procedimento KINE.

- Position Analysis. Os “flags” JACOB e IFNCT são ambos ajustados para 1 e é feita a chamada para o procedimento NEWTON para análise de posição. Neste procedimento, iterações de Newton-Raphson são realizadas junto com o algoritmo L-U.

◆ Velocity Analysis. O “flag” JACOB é ajustado para 1 e IFNCT é ajustado para 2. O procedimento FUNCT é chamado para determinar a matrix Jacobiana e o lado direito das equações de velocidade.

◆ Acceleration Analysis. O “flag” JACOB é ajustado para 0, desde que a matrix Jacobiana e seus correspondentes L e U são válidos do passo de análise de velocidades e IFNCT é ajustado para 3. Uma chamada para o procedimento FUNCT determina o lado direito das equações da aceleração. O procedimento LINEAR é então usado para resolver para a aceleração.

Durante o cálculo de acelerações e velocidades, o procedimento LINEAR armazena as velocidades e acelerações em uma matrix  $F$ . Posteriormente, o procedimento KINEM transfere-os da matrix  $F$  para a matrix  $QD$  e  $QDD$ , respectivamente, pela chamada do procedimento TRANSF.

◆ Procedure NEWTON. Este procedimento é chamado procedimento KINEM para análise de posição quando JACOB = 1 e IFNCT = 1. Este procedimento executa o algoritmo de Newton-Raphson, chama o procedimento FUNCT para determinar a matrix Jacobiana e equações de vínculo, também transfere valores de posição de  $F$  para  $Q$ . Se a iteração de Newton-Raphson falha para a convergência em NRMAX iterações, o procedimento apresenta a seguinte mensagem :

\*\*\*\*\* CONVERGENCE FAILED \*\*\*\*\*

Quando isto acontece, geralmente 2 métodos podem ser tentados : (1) aumentar NRMAX, o máximo número de iterações de Newton-Raphson; (2) aumentar FEPS, o erro máximo permitido pela violação de vínculo.

◆ Procedure REPORT. Este procedimento informa os valores das coordenadas para todos os corpos na sistema ao final de cada intervalo de tempo.

Também computa e informa as coordenadas globais, velocidades e aceleração dos pontos de interesse.

### 5.3 Calculo das Funções

#### ➤ Procedure FUNCT

Este procedimento determina as equações de vínculo, os lados direitos das equações de aceleração e velocidade, e a matriz Jacobiana pela chamada dos procedimentos DO\_SPHER, DO\_UNIVE, DO\_REVOL, DO\_CYLIN, DO\_TRANS, DO\_SCREW, DO\_SIMPL, DO\_DISTAN and DO\_DRIVE. Também determina a sétima equação de cada corpo a partir das relações dos parâmetros de Euler se o elemento não é uma acionador rotativo. Um contador do número de colunas é inicializado em zero neste procedimento. Este contador informa o número de funções ou colunas na matrix Jacobiana. O counter (?) é aumentado pela chamada dos procedimentos de vínculo. Após todas as equações de vínculo terem sido consideradas, IR é igual ao número de equações M (ou N).

#### ➤ Procedure DO\_SPHER

Este procedimento é chamado pelo procedimento FUNCT quando NSPHER>0. Ele calcula o grau de violação da equação de vínculo, os lados direitos das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondentes às juntas esféricas. A violação das equações de vínculo e os lados direitos das equações de velocidade e aceleração são armazenados em matriz F, dependendo do valor de “flag” IFNCT. As entradas diferentes de zero da matriz Jacobiana são armazenadas em forma matricial na matriz FQ, quando JACOB=1.

#### ➤ Procedure DO\_UNIVE

Este procedimento é chamado pelo procedimento FUNCT quando NUNIVE>0. Ele calcula o grau de violação da equação de vínculo, os lados direitos da velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana

correspondentes às juntas universais. Matriz F é usada para armazenar as violações das equações de vínculo e os lados direitos das equações de velocidade e aceleração, dependendo do valor do flag IFNCT. As entradas diferentes de zero da matriz Jacobiana são armazenadas na forma matricial na matriz FQ, quando JACOB=1.

➤ **Procedure DO\_REVOL**

Este procedimento é chamado por procedimento FUNCT quando NREVOL>0. Ele calcula o grau de violação da equação de vínculo, os lados direitos da velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondentes às juntas de rotação.

E estrutura deste procedimento é similar à do procedimento anteriores.

➤ **Procedure DO\_CYLIN**

Este procedimento é chamado pelo procedimento FUNCT quando NCYLIN>0. Ele determina a violação da equação de vínculo, os lados direitos das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondentes às juntas cilíndricas.

E estrutura deste procedimento é similar à do procedimento anteriores.

➤ **Procedure DO\_TRANS**

Este procedimento é chamado pelo procedimento FUNCT quando NTRANS>0. Ele calcula o grau de violação da equação de vínculo, os lados direitos das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondentes à junta prismática.

E estrutura deste procedimento é similar à do procedimento anteriores.

➤ **Procedure DO\_SCREW**

Este procedimento é chamado pelo procedimento FUNCT quando NSCREW>0. Ele calcula o grau de violação da equação de vínculo, os lados

direitos das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondentes às juntas helicoidais.

E estrutura deste procedimento é similar à do procedimento anteriores.

#### ➤ **Procedure DO\_SIMPL**

Este procedimento é chamado pelo procedimento FUNCT quando  $NSIMPL > 0$ . Também ele é chamado por seis vezes quando  $NGROUND > 0$  para ler as seis coordenadas do corpo imóvel. Ele calcula o grau de violação da equação de vínculo, os lados direitos das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondentes aos vínculo simplificados e corpos imóveis.

E estrutura deste procedimento é similar à do procedimento anteriores.

#### ➤ **Procedure DO\_DISTAN**

Este procedimento é chamado pelo procedimento FUNCT quando  $NDISTAN > 0$ . Ele calcula o grau de violação da equação de vínculo, os lados direitos da equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondentes aos vínculos de distanciadores.

A construção deste procedimento é similar ao acima descrito.

#### ➤ **Procedure DO\_DRIVE**

Este procedimento é chamado pelo procedimento FUNCT quando  $NDRIVE > 0$ . Ele calcula o grau de violação da equação de vínculo, os lados direitos das equações de velocidade e aceleração, se as entradas da matriz Jacobiana correspondentes aos acionadores ou motores.

Quando o acionador é rotativo, duas equações devem ser calculados devido ao inter-relacionamento dos parâmetros de Euler. Neste caso serão duas equações de posição, velocidade e aceleração. Portanto, o procedimento FUNCT não necessita calcular a sistema para este elemento uma vez que o interrelacionamentos dos parâmetros de Euler já foi considerada.



## CAPÍTULO 6 EXEMPLOS

Todo programa desenvolvido necessita de um grande número de verificações a fim de descobrir todos os tipos de erros nele presentes, tais como: erros de programação, erros na aplicações de teorias, erros no modelo matemáticos etc. Portanto, nesta dissertação utilizam-se dois tipos principais de testes: do tipo básico, para verificações preliminar de cada parte do programa separadamente; e do tipo complexo, para avaliação do funcionamento do programa após a integração de toda as suas partes.

### 6.1 TESTES BÁSICOS

Os exemplos apresentados a seguir foram elaborados tendo como objetivo o exame das diferentes partes do programa completo. A filosofia para a escolha dos exemplos se baseia em verificações simples, claras e eficientes.

O procedimento de teste do programa é o seguinte: inicialmente, executa-se um primeiro teste utilizando como exemplo um corpo estático com vínculos simplificados. A seguir, num teste, utiliza-se como exemplo um corpo em movimento com vínculos simplificados e vínculos de acionamento. Finalmente, são verificadas as juntas esféricas, juntas universais, juntas de rotação, juntas cilíndricas, juntas prismáticas e as juntas helicoidais utilizando como exemplo dois corpos vinculados. Uma vez concluídos todos estes testes, todas partes do programa terão sido testadas separadamente.

Para identificação dos exemplos dos testes básicos, utiliza-se a seguinte comentação: **EXA. □-□-□**, onde o primeiro número indica o número total de corpos no mecanismo testado; o segundo representa o tipo de condição de vínculo; e o terceiro número fornece o mesmo tipo de vínculo porém com mudança de direção, de velocidade, ou aceleração.

Nos testes complexos, o exemplo é identificado diretamente pelo tipo de mecanismo.

### EXA. 1-1-1 Corpo Estático

Este exemplo foi elaborado para verificação dos vínculos simplificados. Trata-se de um corpo, com seis vínculos simplificados e sem movimento em qualquer direção. Assume-se que o ponto de interesse, ou seja, a origem do sistema de coordenadas globais é mesmo que do sistema de coordenadas locais.

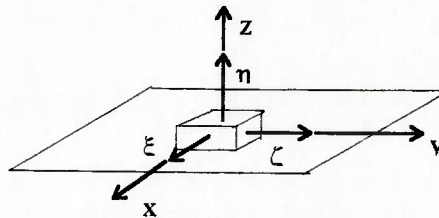


Figure 6.1 EXA 1-1-1 corpo estático

Observando a figura 6.1 pode-se concluir que as seis equações de vínculos simplificados deste sistema mecânico são dadas por:

$$\begin{aligned}
 \Phi &\equiv x_i - c_1 = 0 \\
 \Phi &\equiv y_i - c_2 = 0 \\
 \Phi &\equiv z_i - c_3 = 0 \\
 \Phi &\equiv \alpha_i - c_4 = 0 \\
 \Phi &\equiv \beta_i - c_5 = 0 \\
 \Phi &\equiv \gamma_i - c_6 = 0
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

sendo que, neste caso,  $c_1 \dots c_6$  são nulos.

Este exemplo considera apenas a posição nas vínculos simplificados. O resultado esperado para este exemplo é que durante intervalo de tempo  $T_0 \sim T_e$ , todas as coordenadas locais e globais do corpo e do ponto de interesse são nulas.

Os dados de entrada estão definidos no APÊNDICE B: arquivo IN1-1-1.PAS;

Os dados de saída são fornecidos no APÊNDICE B: arquivo OUT1-1-1.PAS.

### EXA. 1-2-1 Corpo Estático com Referenciais em Origens Diferentes

Este exemplo é análogo ao anterior, porém neste caso a origem do sistema de coordenadas globais é diferente do sistema de coordenadas locais. Foi elaborado para verificação dos vínculos simplificado quando os coeficientes  $c_1 \sim c_3$  são diferentes de zero.

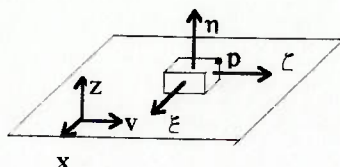


Figure 6.2 EXA 1-2-1 Corpo estático com referenciais em origens diferentes.

A partir do exemplo da figura 6.2, conclui-se que tanto o sistema de coordenadas locais como sua origem (ponto de interesse) são mantidos sempre na mesma posição em relação ao sistema de coordenadas globais.

Os dados de entrada estão definidos no APÊNDICE B: arquivo IN1-2-1.PAS;

Os dados de saída são fornecidos no APÊNDICE B: arquivo OUT1-2-1.PAS.

### EXA. 1-3-1 Corpo em Movimento de Translação.

Este exemplo foi escolhido para verificar os vínculos de acionamento conjugados com os vínculos simplificados. Existem cinco vínculos simplificados e um vínculo de acionamento de tal modo que o número de equações de vínculo é igual ao número de coordenadas. Inicialmente, o ponto de origem do sistema de coordenadas locais é (0,0,0) no sistema de coordenadas globais. O corpo se move somente na direção do eixo y com velocidade constante.

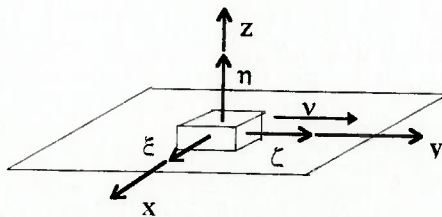


Figure 6.3 EXA 1-3-1 corpo em movimento de translação.

Observando a figura 6.3, pode-se adotar as seguintes equações de vínculo de movimento:

$$\begin{aligned}
 \Phi \equiv x_i - d_1(t) &= 0 & x &= d_1(t) = 0.5A_1t^2 + B_1t + C_1 \\
 \Phi \equiv y_i - d_2(t) &= 0 & y &= d_2(t) = 0.5A_2t^2 + B_2t + C_2 \\
 \Phi \equiv z_i - d_3(t) &= 0 & z &= d_3(t) = 0.5A_3t^2 + B_3t + C_3 \\
 \Phi \equiv \alpha_i - d_4(t) &= 0 & \alpha &= d_4(t) = 0.5A_4t^2 + B_4t + C_4 \\
 \Phi \equiv \beta_i - d_5(t) &= 0 & \beta &= d_5(t) = 0.5A_5t^2 + B_5t + C_5 \\
 \Phi \equiv \gamma_i - d_6(t) &= 0 & \gamma &= d_6(t) = 0.5A_6t^2 + B_6t + C_6
 \end{aligned} \tag{6.2}$$

onde apenas a segunda equação será aplicada. Para  $A_2=0$ ,  $B_2=1$  e  $C_2=1$ , obtem-se:

$$\begin{aligned}
 y &= t + 1 \\
 \dot{y} &= 1 \\
 \ddot{y} &= 0
 \end{aligned} \tag{6.3}$$

Para analisar se o resultado está correto, uma maneira simples é verificar se o corpo se movimenta ao longo do eixo  $y$  com velocidade constante.

Os dados de entrada estão definidos no APÊNDICE B: arquivo IN1-3-1.PAS;

Os dados de saída são fornecidos no APÊNDICE B: arquivo OUT1-3-1.PAS.

### EXA. 1-3-2 Um Corpo em Movimento de Translação com Outro Acionador

Este exemplo é semelhante ao anterior. A diferença está em que a direção do movimento é alterada do eixo  $y$  para o eixo  $x$ , tendo como objetivo a verificação de outras equações de vínculo de movimento. A posição inicial e o ponto de interesse são os mesmos do exemplo anterior, bem como a velocidade e a aceleração.

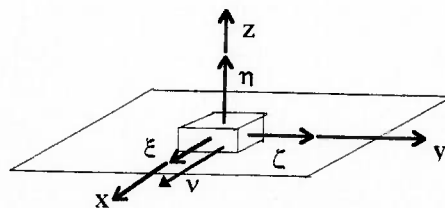


Figure 6.4 EXA 1-3-2 corpo em movimento de translação com outro acionador.

As equações de vínculo de posição, velocidade e aceleração são dadas por:

$$\begin{aligned}x &= t + 1 \\ \dot{x} &= 1 \\ \ddot{x} &= 0\end{aligned}\tag{6.4}$$

Portanto, neste exemplo o corpo se move ao longo do eixo  $x$  com velocidade constante enquanto que nas outras direções as coordenadas correspondentes não são alteradas.

Os dados de entrada estão definidos no APÊNDICE B: arquivo IN1-3-2.PAS;

Os dados de saída são fornecidos no APÊNDICE B: arquivo OUT1-3-2.PAS.

### Exa. 1-3-3 Um Corpo em Movimento de Translação com Dois Acionadores

Este exemplo é elaborado a fim de verificar a utilização de dois acionadores atuando sobre o corpo em duas direções distintas. Neste exemplo, os acionadores atuam sobre os eixos  $x$  e  $y$ , com os mesmo valores adotados nos dois exemplos anteriores. De fato, este exemplo é uma combinação dos dois anteriores.

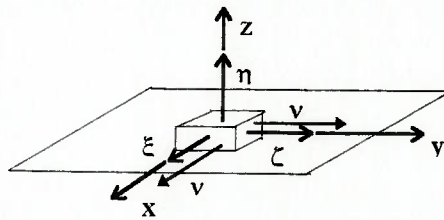


Figure 6.5 EXA 1-3-3 Um corpo em movimento de translação com dois acionadores.

As equações de vínculo, bem como as equações delas derivadas, de velocidade e de aceleração são dadas por:

$$\begin{aligned}x &= t + 1 & y &= t + 1 \\ \dot{x} &= 1 & \dot{y} &= 1 \\ \ddot{x} &= 0 & \ddot{y} &= 0\end{aligned}\tag{6.5}$$

Portanto, como resultado, o corpo deve se mover ao longo de uma reta no plano  $xy$ , de um ângulo de  $45^\circ$  em relação aos mesmos eixos, com velocidade constante.

Os dados de entrada estão definidos no APÊNDICE B: arquivo IN1-3-3.PAS;

Os dados de saída são fornecidos no APÊNDICE B: arquivo OUT1-3-3.PAS.

#### EXA. 1-3-4 Um Corpo em Movimento de Translação com Três Acionadores

Este exemplo é elaborado a fim de testar três acionadores atuando no corpo porém em três direções diferentes. Neste exemplo, os três acionadores são posicionados nos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$  respectivamente, com valores iguais aos dos exemplos anteriores. Observando a figura seguinte:

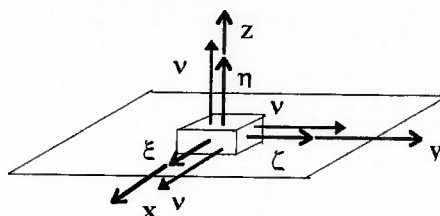


Figure 6.6 EXA 1-3-4 Um Corpo em Movimento de Translação com Três Acionadores

As equações de vínculo bem como as equações delas derivadas, de velocidade e aceleração são dadas por:

$$\begin{array}{lll}
 x = t + 1 & y = t + 1 & z = t + 1 \\
 \dot{x} = 1 & \dot{y} = 1 & \dot{z} = 1 \\
 \ddot{x} = 0 & \ddot{y} = 0 & \ddot{z} = 0
 \end{array} \quad (6.6)$$

Neste exemplo o corpo se move com velocidade constante ao longo dos um eixo, cujo ângulo de inclinação em relação às três direções  $x$ ,  $y$  e  $z$  é o mesmo. As componentes do vetor-posição do ponto de interesse são as mesmas nas 3 direções  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

Os dados de entrada estão definidos no APÊNDICE B: arquivo IN1-3-4.PAS;

Os dados de saída são fornecidos no APÊNDICE B: arquivo OUT1-3-4.PAS.

### EXEMPLO 1-4-1 Um Corpo Em Movimento De Rotação

Este exemplo analisa um corpo em movimento de rotação com cinco vínculos simplificados e um vínculo de acionamento. A posição inicial do corpo é a origem dos sistema de coordenadas globais e locais. Um acionador impõe ao corpo um deslocamento angular  $\alpha$ ; nas demais direções, cinco vínculos simplificados retringem o movimento do corpo. Veja a figura a seguir:

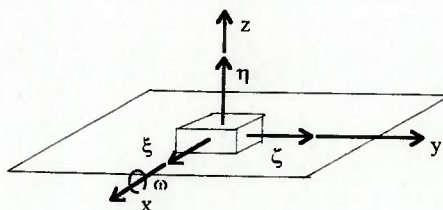


Figura 6.7 Um corpo em movimento de rotação.

A equação de vínculo de acionamento neste exemplo é

$$\Phi \equiv \alpha_1 - d_4(t) = 0 \quad \alpha = d_4(t) = 0.5A_4t^2 + B_4t + C_4 \quad (6.7)$$

onde  $A_4=0$ ,  $B_4=1.047$ , e  $C_4=0$ .

Considere os parâmetros de Euler na rotação

$$e_0 = \cos \frac{\phi}{2}$$

$$\vec{e} = \vec{u} \sin \frac{\phi}{2}$$

$$e_0 = \cos \frac{\alpha}{2}$$

portanto,

$$e_1 = \sin \frac{\alpha}{2}$$

(6.8)

As equações de velocidade e aceleração são:

$$\dot{\alpha} = 1.047$$

$$\dot{e}_1 = 0.5e_0\dot{\alpha}$$

$$\ddot{\alpha} = 0$$

$$\ddot{e}_1 = 0.5e_0\ddot{\alpha}$$

(6.9)

Neste exemplo, somente  $e_0$  e  $e_1$  variam com o tempo.

Os dados de entrada estão no APÊNDICE B: arquivo IN1-4-1.PAS;

Os dados de saída estão no APÊNDICE B: arquivo OUT1-4-1.PAS.

**EXEMPLO1-4-2 Um Corpo Em Movimento de Rotação  
devido a um outro Acionador**

Este exemplo é análogo ao anterior, com a diferença de que o eixo de rotação foi alterado de x para y. Neste caso, o objetivo é a análise de outras equações de vínculo do acionamento. Veja a figura a seguir:

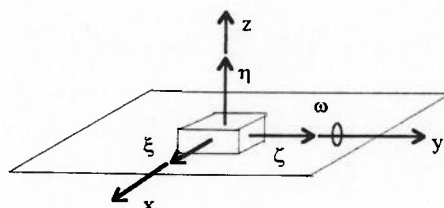


Figura 6.8 Um corpo em movimento de rotação em torno de um outro eixo.

As equações de vínculo de posição, velocidade e aceleração são semelhantes às daquelas do exemplo anterior:

$$\Phi \equiv \beta_i - d_5(t) = 0 \quad \beta = d_5(t) = 0.5A_5t^2 + B_5t + C_5 \quad (6.10)$$

onde  $A_5=0$ ,  $B_5=1.047$ , e  $C_5=0$ .

Considere os parâmetros de Euler na rotação:

$$\begin{aligned} e_0 &= \cos \frac{\phi}{2} & e_0 &= \cos \frac{\beta}{2} \\ \vec{e} &= \vec{u} \sin \frac{\phi}{2} & \text{portanto} & \\ & & e_2 &= \sin \frac{\beta}{2} \end{aligned} \quad (6.11)$$

As equações de velocidade e aceleração são:

$$\begin{aligned} \dot{\beta} &= 1.047 & \dot{e}_2 &= 0.5e_0\dot{\beta} \\ \ddot{\beta} &= 0 & \ddot{e}_2 &= 0.5e_0\ddot{\beta} \end{aligned} \quad (6.12)$$

Os dados de entrada estão no APÊNDICE B: arquivo IN1-4-2.PAS;

Os dados de saída estão no APÊNDICE B: arquivo OUT1-4-2.PAS.



### EXEMPLO 1-4-3 Um Corpo Em Movimento de Rotação com Aceleração Angular

Este exemplo baseia-se no exemplo anterior, sendo que neste caso aceleração angular é diferente de zero. Assim, as equações de vínculo de acionamento, bem como as equações delas derivadas de velocidade e aceleração são:

$$\Phi \equiv \beta_i - d_5(t) = 0 \quad \beta = d_5(t) = 0.5A_5t^2 + B_5t + C_5 \quad (6.13)$$

onde  $A_5=1.047$ ,  $B_5=1.047$  e  $C_5=0$ .

Considere os parâmetros de Euler na rotação:

$$\begin{aligned} e_0 &= \cos \frac{\phi}{2} & \text{portanto} & & e_0 &= \cos \frac{\beta}{2} \\ \vec{e} &= \vec{u} \sin \frac{\phi}{2} & & & e_2 &= \sin \frac{\beta}{2} \end{aligned} \quad (6.14)$$

As equações de velocidade e aceleração são:

$$\begin{aligned} \dot{\beta} &= 1.047t + 1.047 & \dot{e}_2 &= 0.5e_0\dot{\beta} \\ \ddot{\beta} &= 1.047 & \ddot{e}_2 &= 0.5e_0\ddot{\beta} \end{aligned} \quad (6.15)$$

Os dados de entrada estão no APÊNDICE B: arquivo IN1-4-3.PAS;

Os dados de saída estão no APÊNDICE B: arquivo OUT1-4-3.PAS.

### EXEMPLO 2-1-1 Dois Corpos Conectados Por Uma Junta Esférica

Este exemplo verifica o procedimento DO\_SPHER que considera dois corpos conectados por uma junta esférica.

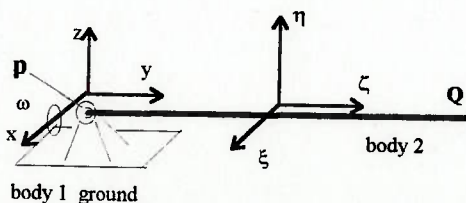


Figura 6.9 Dois corpos conectados por junta esférica.

O corpo 1 é um corpo imóvel com a origem do seu sistema coordenados local coincidente com a do seu sistema coordenados global. O corpo 2 é uma barra com uma de suas extremidades conectada ao corpo 1 por uma junta esférica. Seu sistema de coordenadas local está fixo no ponto médio da barra, que possui como coordenadas globais  $(0,1,0)$ . O ponto de interesse é a outra extremidade do corpo 2, cujas coordenadas locais são  $(0,1,0)$ .

No mecanismo em questão, a junta esférica impõe 3 equações de vínculo; o acionador, 1 equação; o corpo imóvel, 6 equações; e há outras duas equações devidas a dois vínculos simplificados. Portanto, o número total de equações de vínculos é 12, que coincide com a soma do número de coordenadas livres dos dois corpos admitidos sem qualquer vinculação.

Tempo: instante inicial  $T_0=0$ ; instante final  $T_e=3$  s; incremento de tempo  $dT=1$  s

A análise é feita da seguinte forma: A junta esférica permite que o corpo 2 gire em torno de um eixo que passa pelo ponto  $P$ ; dois vínculos simplificados impedem que a barra gire em torno dos eixos  $z$  e  $y$ . Assim, guiado pelo vínculos de acionamento, o corpo 2 irá girar somente em torno do eixo  $x$  passando pelo ponto  $P$ . A trajetória do centro do corpo 2 é circular de raio 1. Analogamente, a trajetória do ponto  $Q$  também é circular, mas de raio igual a 2.

Com o propósito de realizar comparações, o exemplo é desenvolvido da seguinte maneira:

Quando  $T=T_0=0$ :

para o corpo 2

$$\begin{aligned}\omega_x &= 1.047 \\ \dot{\omega}_x &= 0 \\ y &= 1 \\ \dot{y} &= 0 \\ \ddot{y} &= \omega^2 r = -1.096 \\ x &= 0 \\ \dot{x} &= 0 \\ \ddot{x} &= 0 \\ z &= 0 \\ \dot{z} &= \omega r = 1.047 \\ \ddot{z} &= 0\end{aligned}$$

Quando  $T=1$ :

para o corpo 2

$$\begin{aligned}\omega_x &= 1.047 \\ \dot{\omega}_x &= 0 \\ y &= 0.5 \\ \dot{y} &= -1.096 \\ \ddot{y} &= \omega^2 r = -1.096 \\ x &= 0 \\ \dot{x} &= 0 \\ \ddot{x} &= 0 \\ z &= 0.866 \\ \dot{z} &= \omega r = 0.52 \\ \ddot{z} &= -1.898\end{aligned}$$

Os dados de entrada estão no APÊNDICE B: arquivo IN2-1-1.PAS;

Os dados de saída estão no APÊNDICE B: arquivo OUT2-1-1.PAS.

### EXEMPLO 2-2-1 Dois Corpos Conectados por Uma Junta Universal

Este exemplo verifica o procedimento DO\_UNIVE que considera dois corpos conectados por uma mais simples junta universal.

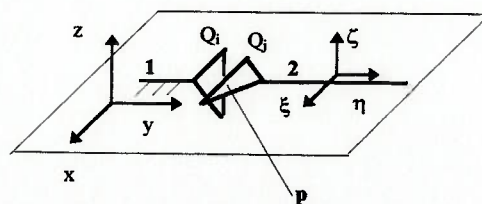


Figura 6.10 Dois corpos conectados por uma junta universal.

O corpo 1 é um corpo imóvel cuja origem de seu sistema de coordenadas local coincide com a de seu sistema de coordenadas global. O corpo 2 é uma barra com uma de suas extremidade conectada ao corpo 1 por meio de uma junta universal. Seu sistema de coordenadas local está fixo no ponto médio da barra, que possui como coordenadas globais (0,1,0). O ponto de interesse é a outra extremidade do corpo 2, cujas coordenadas locais são (0,1,0).

No mecanismo de dois corpos, a junta universal impõe 4 equações de vínculo; o acionador, 1 equação; o corpo imóvel, 6 equações; e há outra equações devida a uma vínculo simplificado. O número total de equações é 12, igual à soma do número de coordenadas livres dos dois corpo admitidos sem qualquer vinculação.

Tempo: instante inicial  $T_0=0$ ; instante final  $T_e=3$  s; incremento de tempo  $dT=1$  s

A análise é feita da seguinte forma: A junta universal permite que o corpo 2 gire apenas em torno dos eixos x ou z passando pelo ponto P; o vínculo simplificado impede que a barra gire em torno do eixo z. Assim, guiado pelos vínculos de acionamento, o corpo 2 irá girar somente em torno do eixo x passando por P. A trajetória do centro do corpo 2 é circular de raio 1. Analogamente, a trajetória do ponto Q é também circular, mas de raio igual a 2.

Com o propósito de realizar comparações, o exemplo é desenvolvido a seguir de maneira semelhante ao exemplo da junta esférica:

Quando  $T=T_0=0$ :

para o corpo 2

$$\begin{aligned}\omega_x &= 1.047 \\ \dot{\omega}_x &= 0 \\ y &= 1 \\ \dot{y} &= 0 \\ \ddot{y} &= \omega^2 r = -1.096 \\ x &= 0 \\ \dot{x} &= 0 \\ \ddot{x} &= 0 \\ z &= 0 \\ \dot{z} &= \omega r = 1.047 \\ \ddot{z} &= 0\end{aligned}$$

Quando  $T=1$ :

para o corpo 2

$$\begin{aligned}\omega_x &= 1.047 \\ \dot{\omega}_x &= 0 \\ y &= 0.5 \\ \dot{y} &= -1.096 \\ \ddot{y} &= \omega^2 r = -1.096 \\ x &= 0 \\ \dot{x} &= 0 \\ \ddot{x} &= 0 \\ z &= 0.866 \\ \dot{z} &= \omega r = 0.52 \\ \ddot{z} &= -1.898\end{aligned}$$

Os dados de entrada estão no APÊNDICE B: arquivo IN2-2-1.PAS;

Os dados de saída estão no APÊNDICE B: arquivo OUT2-2-1.PAS.

### EXEMPLO 2-3-1 Dois Corpos Conectados Por Uma Junta de Revolução

Este exemplo testa o procedimento DO\_REVOL, usando dois corpos conectados por uma junta de revolução.

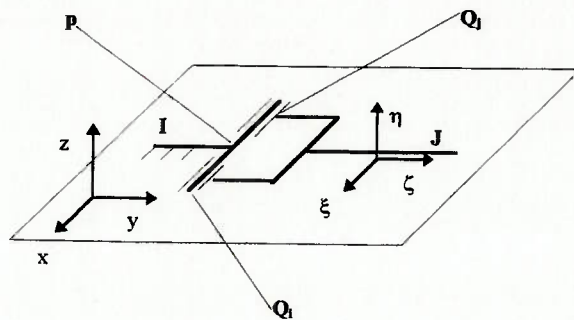


Figura 6.11 Dois corpos conectados por uma junta de revolução

O corpo  $I$  é um corpo imóvel tendo a origem do seu sistema de coordenadas local coincidente com a de seu sistema coordenadas global. O corpo  $J$  é uma barra com uma de suas extremidades conectadas ao corpo  $I$  por meio de uma junta de revolução. Seu sistema de coordenadas local está fixo no ponto médio da barra, que possui como coordenadas globais  $(0,1,0)$ . O ponto de interesse é a outra extremidade do corpo 2, cujas coordenadas locais são  $(0,1,0)$ .

No mecanismo de dois corpos, a junta de revolução impõe 5 equações de vínculo; o acionador, 1 equação de vínculo; o corpo imóvel, 6 equações. Desta forma, o número total de equações de vínculo é 12, igual ao número de coordenadas livres dos corpos admitidos sem qualquer vinculação.

Tempo: instante inicial  $T_0=0$ ; instante final  $T_e=3$  s; incremento de tempo  $dT=1$  s

A análise é feita da seguinte forma: A junta de revolução permite que o corpo  $J$  gire somente em torno do eixo  $x$  passando pelo ponto  $P$ , guiado de acordo com os vínculos de acionamento. A trajetória do centro do corpo  $J$  é circular de raio 1. Analogamente, a trajetória do ponto  $Q$  é também circular, mas de raio igual a 2.

Com o propósito de realizar comparações, o exemplo é desenvolvido a seguir, de maneira análoga aos anteriores:

Quando  $T=T_0=0$ :

para o corpo  $J$

$$\omega_x = 1.047$$

$$\dot{\omega}_x = 0$$

$$y = 1$$

$$\dot{y} = 0$$

$$\ddot{y} = \omega^2 r = -1.096$$

$$x = 0$$

$$\dot{x} = 0$$

$$\ddot{x} = 0$$

$$z = 0$$

$$\dot{z} = \omega r = 1.047$$

$$\ddot{z} = 0$$

Quando  $T=1$ :

para o corpo  $I$

$$\omega_x = 1.047$$

$$\dot{\omega}_x = 0$$

$$y = 0.5$$

$$\dot{y} = -1.096$$

$$\ddot{y} = \omega^2 r = -1.096$$

$$x = 0$$

$$\dot{x} = 0$$

$$\ddot{x} = 0$$

$$z = 0.866$$

$$\dot{z} = \omega r = 0.52$$

$$\ddot{z} = -1.898$$

Os dados de entrada estão no APÊNDICE B: arquivo IN2-3-1.PAS;

Os dados de saída estão no APÊNDICE B: arquivo OUT2-3-1.PAS.

## EXEMPLO 2-4-1 Dois Corpos Conectados Por Uma Junta Cilíndrica

Este exemplo verifica o procedimento DO\_REVOL que considera dois corpos conectados por uma junta de cilíndrica.

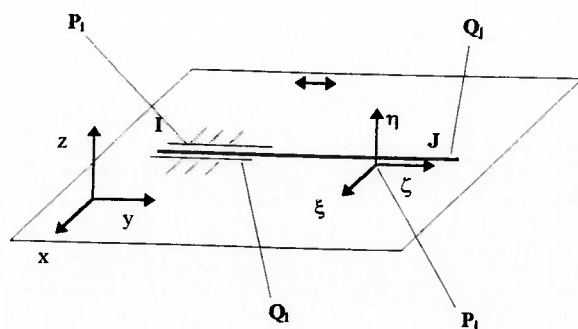


Figura 6.12 Dois corpos conectados por uma junta cilíndrica

O corpo  $I$  é um corpo imóvel cuja origem de seu sistema de coordenadas local coincidente com a de seu sistema de coordenadas global. O corpo  $J$  é uma barra com uma extremidade conectada ao corpo  $I$  por meio de uma junta cilíndrica. Seu sistema de coordenadas local é fixo ao ponto médio da barra, que possui como coordenadas globais  $(0,1,0)$ . O ponto de interesse é a outra extremidade do corpo  $J$ , cujas coordenadas locais são  $(0,1,0)$ .

No mecanismo de dois corpos, a junta cilíndrica impõe 4 equações de vínculo; o acionador, 1 equação; o corpo imóvel, 6 equações; além de uma equação devida a um vínculo simplificado. O número total de equações é 12, igual ao número de coordenadas livres dos dois corpos admitidos sem qualquer vinculação.

Tempo: instante inicial  $T_0=0$ ; instante final  $T_e=3$  s; incremento de tempo  $dT=1$  s

A análise é feita da seguinte forma: A junta cilíndrica permite que o corpo  $J$  deslize e rotacione em torno do eixo  $y$ . O vínculo simplificado impede que a barra gire em torno do eixo  $y$ . Assim, guiado pelos vínculos de acionamento, o corpo  $J$  irá deslizar na direção do eixo  $y$ . A trajetória do centro do corpo  $J$  é uma linha ao longo do eixo  $y$ .

Analogamente, a trajetória de todos os pontos do corpo  $J$  também é uma linha paralela ao eixo  $y$ .

Com o propósito de realizar comparações, o exemplo é desenvolvido a seguir:

Quando  $T=T_0=0$ :

para o corpo  $J$

$$y = 1$$

$$\dot{y} = 1$$

$$\ddot{y} = 0$$

$$x = 0$$

$$\dot{x} = 0$$

$$\ddot{x} = 0$$

$$z = 0$$

$$\dot{z} = 0$$

$$\ddot{z} = 0$$

Quando  $T=1$ :

para o corpo  $J$

$$y = 1$$

$$\dot{y} = 1$$

$$\ddot{y} = 0$$

$$x = 0$$

$$\dot{x} = 0$$

$$\ddot{x} = 0$$

$$z = 0$$

$$\dot{z} = 0$$

$$\ddot{z} = 0$$

Os dados de entrada estão no APÊNDICE B: arquivo IN2-4-1.PAS;

Os dados de saída estão no APÊNDICE B: arquivo OUT2-4-1.PAS.

### EXEMPLO 2-5-1 Dois Corpos Conectados Por Uma Junta Prismática

Este exemplo verifica o procedimento DO\_TRANS que considera dois corpos conectados por uma junta prismática.

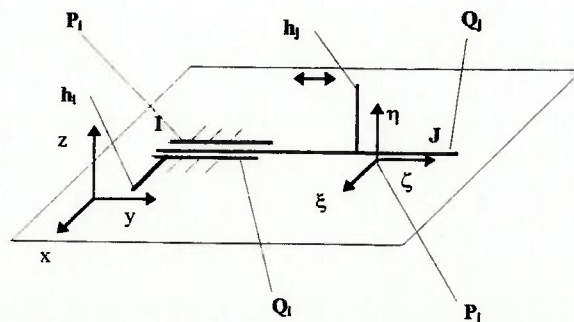


Figura 6.13 Dois corpos com junta translacional

O corpo  $I$  é um corpo imóvel cuja origem do seu sistema de coordenadas local coincide com a de seu sistema de coordenadas global. O corpo  $J$  é uma barra com uma de suas



extremidades conectadas ao corpo  $I$  por meio de uma junta prismática. Seu sistema de coordenadas local é fixo ao ponto médio da barra, cuja coordenadas globais  $(0,1,0)$ . O ponto de interesse é a outra extremidade do corpo  $J$ , cujas coordenadas locais são  $(0,1,0)$ .

No mecanismo de dois corpos, a junta prismática impõe 5 equações de vínculo; o acionador, 1 equação; o corpo imóvel, 6 equações. O número total de equações de vínculo é 12, igual ao número de coordenadas livre dos dois corpos admitidos sem qualquer vinculação.

Tempo: instante inicial  $T_0=0$ ; instante final  $T_e=3$  s; incremento de tempo  $dT=1$  s

A análise é feita da seguinte maneira: A junta prismática permite que o corpo  $J$  deslize somente pelo corpo  $I$ . Assim, guiado pelos vínculos de acionamento, o corpo  $J$  irá deslizar somente pelo eixo  $y$ . A trajetória do centro do corpo  $J$  é uma linha ao longo do eixo  $y$ . Analogamente, a trajetória de todos os pontos do corpo  $J$  também é uma linha paralela ao eixo  $y$ .

Com o propósito de realizar comparações, o exemplo é desenvolvido a seguir de maneira análoga ao exemplo da junta translacional:

Quando  $T=T_0=0$ :

para o corpo  $I$

$$\begin{aligned} y &= 1 \\ \dot{y} &= 1 \\ \ddot{y} &= 0 \\ x &= 0 \\ \dot{x} &= 0 \\ \ddot{x} &= 0 \\ z &= 0 \\ \dot{z} &= 0 \\ \ddot{z} &= 0 \end{aligned}$$

Quando  $T=1$ :

para o corpo  $J$

$$\begin{aligned} y &= 1 \\ \dot{y} &= 1 \\ \ddot{y} &= 0 \\ x &= 0 \\ \dot{x} &= 0 \\ \ddot{x} &= 0 \\ z &= 0 \\ \dot{z} &= 0 \\ \ddot{z} &= 0 \end{aligned}$$

Os dados de entrada estão no APÊNDICE B: arquivo IN2-5-1.PAS;

Os dados de saída estão no APÊNDICE B: arquivo OUT2-5-1.PAS.

## EXEMPLO 2-6-1 Dois Corpos Conectados Por Uma Junta Helicoidal

Este exemplo verifica o procedimento DO\_SCREW que considera dois corpos conectados por uma junta helicoidal.

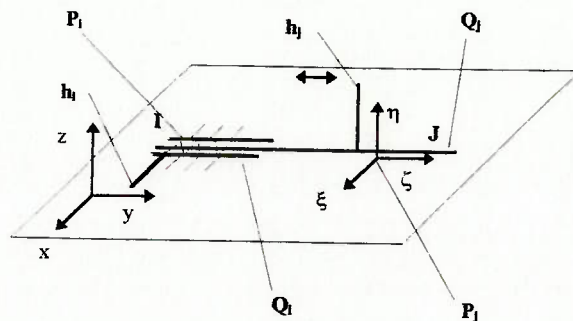


Figura 6.14 Dois corpos conectados por uma junta helicoidal

O corpo  $I$  é um corpo imóvel cuja origem do seu sistema de coordenadas local coincide com a de seu sistema de coordenadas global. O corpo  $J$  é uma barra conectada ao corpo  $I$  por uma junta helicoidal. O sistema de coordenadas local da barra é fixo ao ponto médio da barra, que possui como coordenadas globais  $(0,1,0)$ . O ponto de interesse é a outra extremidade do corpo  $J$ , cujas coordenadas locais são  $(0,1,0)$ .

No mecanismo de dois corpos, a junta helicoidal impõe 5 equações de vínculo; o acionador, 1 equação; o corpo imóvel, 6 equações. O número total de equações de vínculo é 12, igual ao número de coordenadas livres dos dois corpos admitidos sem qualquer vinculação.

Tempo: instante inicial  $T_0=0$ ; instante final  $T_e=3$  s; incremento de tempo  $dT=1$  s

A análise é feita da seguinte maneira: A junta helicoidal permite que o corpo  $J$  se mova ao longo do corpo  $I$ . Assim, guiado pelos vínculos de acionamento, o corpo  $J$  irá somente girar e se mover ao longo do eixo  $y$ . A trajetória do centro do corpo  $J$  é uma linha ao longo do eixo  $y$ .

Com o propósito de realizar comparações, o exemplo é desenvolvido a seguir:

Quando  $T=T_0=0$ :

para o corpo  $J$

$$\begin{aligned}y &= 1 \\ \dot{y} &= 0.52 \\ \ddot{y} &= 0 \\ x &= 0 \\ \dot{x} &= 0 \\ \ddot{x} &= 0 \\ z &= 0 \\ \dot{z} &= 0 \\ \ddot{z} &= 0\end{aligned}$$

Quando  $T=1$ :

para o corpo  $J$

$$\begin{aligned}y &= 1 \\ \dot{y} &= 0.52 \\ \ddot{y} &= 0 \\ x &= 0 \\ \dot{x} &= 0 \\ \ddot{x} &= 0 \\ z &= 0 \\ \dot{z} &= 0 \\ \ddot{z} &= 0\end{aligned}$$

Os dados de entrada estão no APÊNDICE B: arquivo IN2-6-1.PAS;  
Os dados de saída estão no APÊNDICE B: arquivo OUT2-6-1.PAS.

## 6.2 Testes Complexos

Como verificação adicional, processaram-se tres exemplos de maior complexidade. Os modelos selecionados estão descritos na literatura e acompanhados de resultados que permitem uma comparação rigorosa dos resultados publicados com os do programa desenvolvido nesta dissertação.

Os dois primeiros exemplos foram extraídos de <Computer Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems> by Edward J. Haug of Center for Computer Aided Design and Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, The University of Iowa[14]. Os resultados nesses exemplos foram obtidos pelo uso do código bastante conhecido DADS. O terceiro exemplo foi extraído do tese de doutoramento (em preparo final) do Prof. Tarcisio Coelho, do depto. de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Os resultados de referencia, neste caso, foram obtidos a partir de um programa especialmente desenvolvido e, simultâneamente verificados pelo uso do software ADAMS.

### 6.2.1 Mecanismo Tridimensional de Quatro Barras

Este mecanismo de quatro barras é formado por quatro corpos, um dos quais é imóvel; cinco pares cinmático: duas juntas de rotação, uma esférica, uma junta universal e um vínculo de acionamento.

A junta de rotação A é formado pelas peças 1 e 4 (corpo imóvel); a junta de rotação D é formado pelas peças 3 e 4; a junta universal B ligar os corpos 1 e 2; a junta esférica C liga os corpos 2 e 3.

A definição de cada par cinemática é feita a partir de pontos que são escolhidos a partir do proprio tipo de junda. Os pontos  $Q_i$  e  $Q_j$ , pertencem ao eixos das peças integrantes da junta e mais o ponto comum a ambas as peças serão utilizados para definirem juntas de rotação e a junta universal, enquanto que uma junta esférica fice perfeitamente definida pelo único ponto P, comum às duas peças. O mecanismo está representado na figura seguinte.

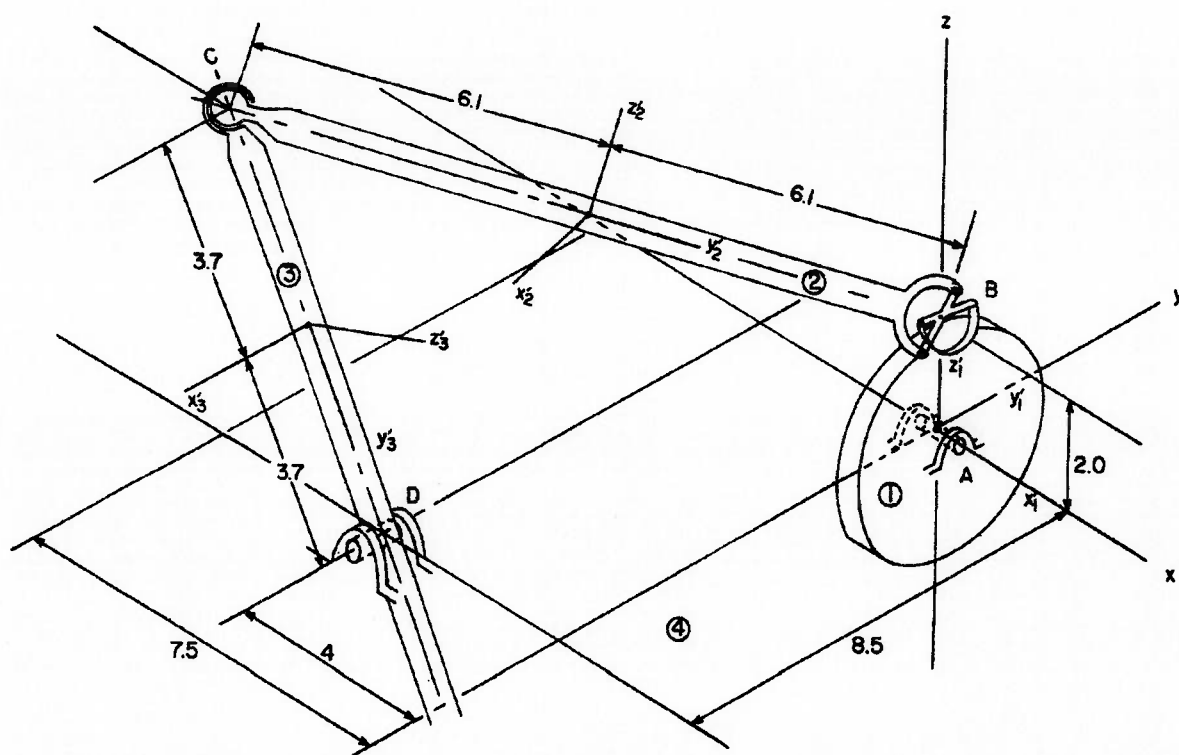


Figura 6.15 Mecanismo tridimensional de quatro barras.

Informações detalhadas do mecanismo contem do Apendice B: IN4-BAR.

Uma vez que este sistema mecânico é integrado por quatro corpos, quais são necessárias 28 coordenadas e também devem existir 28 equações que descrevem o sistema completo. A matriz Jacobiana é  $28 \times 28$ , Para melhor caracterizar o sistema, os valores numéricos dos componentes da matriz Jacobiana está representado na tabela 6.1.

Na matriz Jacobiana, as tres primeiros linhas referem-se à junta esférica com 3 equações de vínculos. As linhas 4~7 descrevem uma junta universal com 4 equações, as linhas 8~12 e 13~17 correspondem a duas juntas de rotação. Já o vínculo motor aparece nas linhas 18 e 19 e corpo imóvel nas linhas 20~25. Finalmente as linhas 26~28 contém as equações de normalizações dos parâmetros de Euler.

Na tabela 6.1 as área sombreadas representem elementos non necessariamente nulos enquanto as posições claras implicam em variáveis não relacionadas.

	body 1									body 2									body 3									body 4									
	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	e <sub>0</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	e <sub>0</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>	e <sub>0</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	Z <sub>4</sub>	e <sub>0</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>									
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	spherical joint constraint								
2																																					
3																																					
4	1	0	0	0	0	4.0	0	-1	0	0	-3.17	3.29	3.54	10.7	-1	0	0	4.49	2.66	-2.66	-4.90																
5	0	1	0	0	-4	0	0	-1	0	0	-10.7	-3.5	3.29	-3.17	0	-1	0	4.49	2.66	2.66	4.49																
6	0	0	1	4	0	0	0	0	0	-1	3.54	-10.7	3.17	3.29	0	0	-1	-2.66	4.50	-4.50	2.66																
7	0	0	0	-13.4	0.9	-1.02	0.55	0	0	0	-0.78	0.77	1.66	-0.08																							
8	1	0	0	0	0	0	0																														
9	0	1	0	0	0	0	0																														
10	0	0	1	0	0	0	0																														
11	0	0	0	0	0	0	-2																														
12	0	0	0	0	0	-2	0																														
13																																					
14																																					
15																																					
16																																					
17																																					
18	0	0	0	0	1	0	0																														
19	0	0	0	1	0	0	0																														
20																																					
21																																					
22																																					
23																																					
24																																					
25																																					
26																																					
27																																					
28																																					

Table 6.1 Jacob matrix of the four-bar system.

Os resultados calculados pelo programa DADS e apresentados em [14], Pg407, são agora comparados aos obtidos pelo programa YOUNG mediante graficos que representam as mesma variáveis nos mesmas intervalos de tempo. São apresentados nas figuras seguintes a coordenadas z de B, coordenada z da peça 3, componente na direção z da velocidade da peça 3, todas as variáveis com função de tempo.

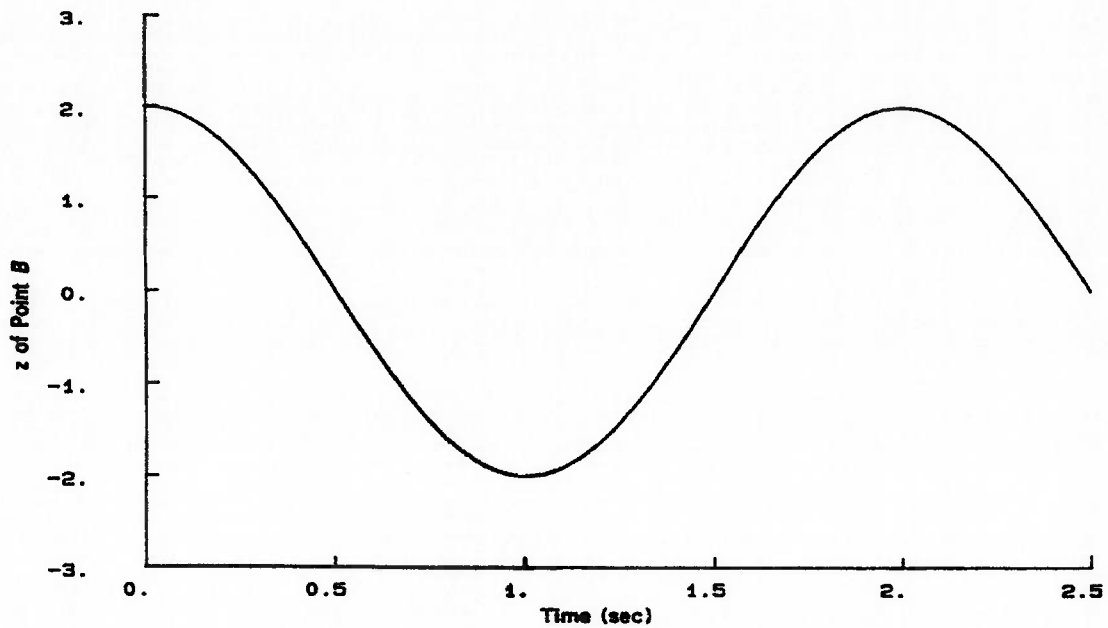


Figura 6.16 Coordenadas z de B versus tempo e calculado segundo DADS[14]

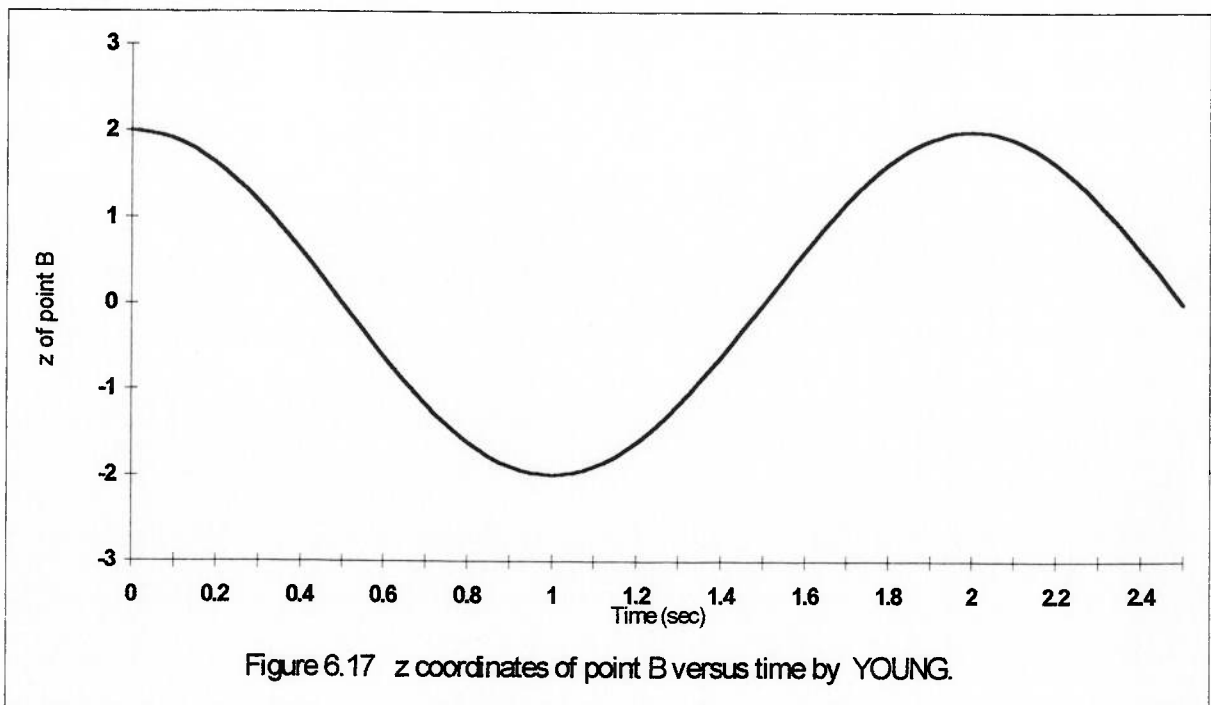


Figure 6.17 z coordinates of point B versus time by YOUNG.

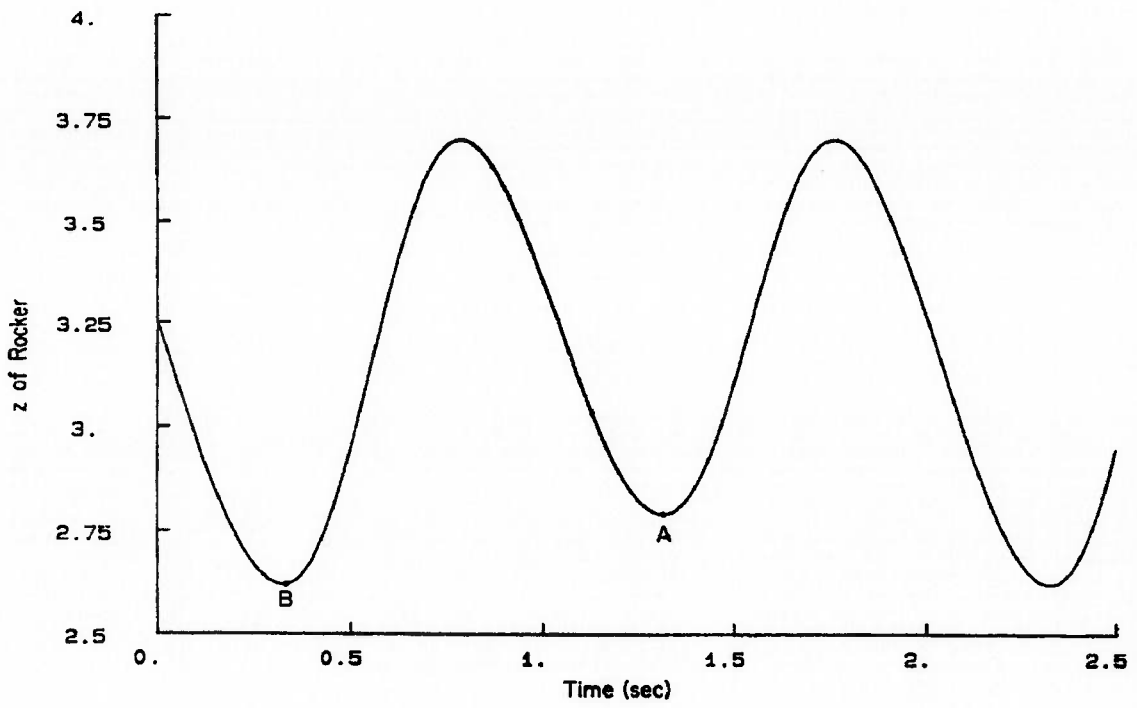


Figura 6.18 Coordenadas  $z$  do corpo versus tempo segundo DADS[14].

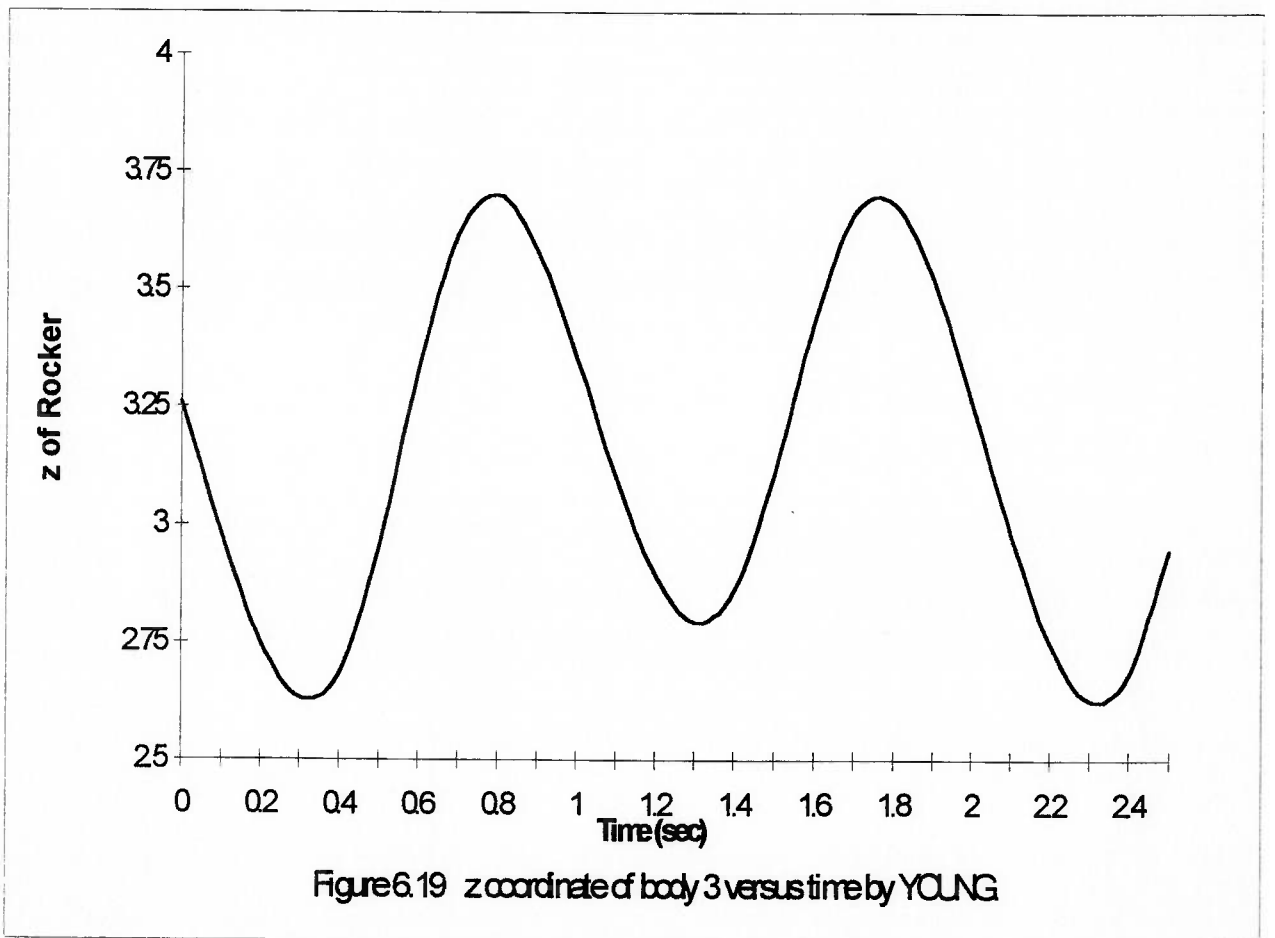


Figure 6.19  $z$  coordinate of body 3 versus time by YOUNG



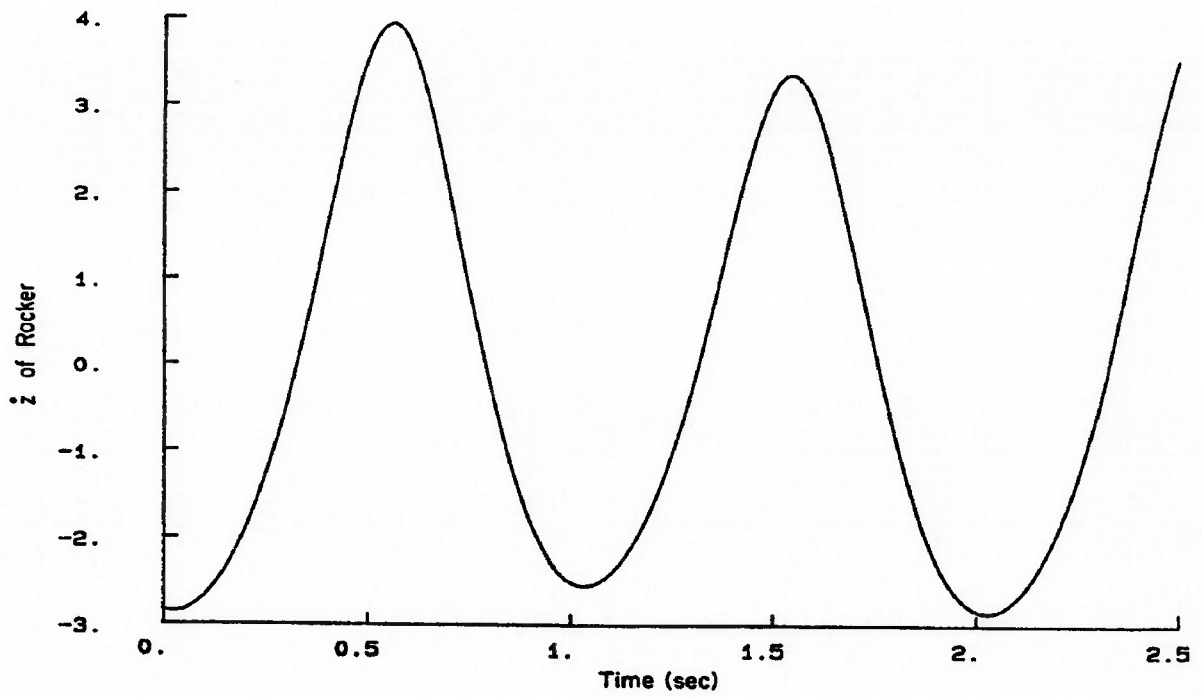


Figura 6.20 Coordenadas z de velocidade do corpo 3 versus tempo por DADS[14].

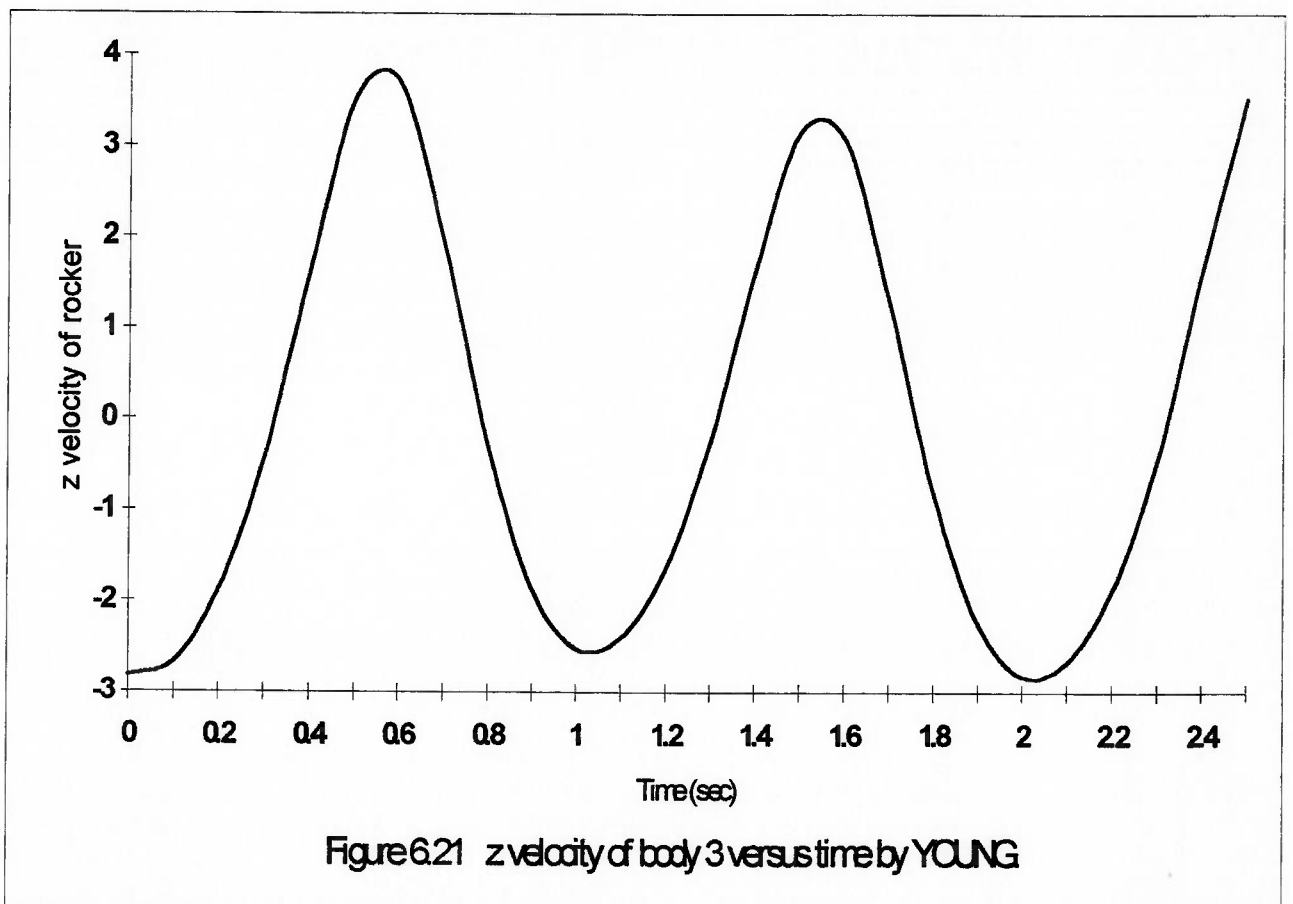


Figure 6.21 z velocity of body 3 versus time by YOUNG

Informações numéricas sobre a análise cinemática deste mecanismo encontra-se no Apêndice B: OUT4-BAR.

## 6.2.2 Uma Biela-Manivela Tridimensional

Alguns tipos de mecanismos podem ser modelados de diversas formas. Como exemplo, cita-se o mecanismo biela-manivela. Na referência [14] (Pg396), define-se um modelo deste mecanismo composto por quatro corpos, vinculados com uma juntas de rotação, uma juntas esférica, junta combinada rotação-cilíndrica, um vínculo de translação, um vínculo de distância, um corpo imóvel e equações de normalizações dos parâmetros de Euler. Outra forma de modelar o mesmo mecanismo é feita nesta dissertação: cinco corpos com vínculos de junta esférica, junta de rotação 1, junta de rotação 2, junta cilíndrica, vínculo de translação, vínculo de distância, um corpo imóvel (6 vínculos simplificadas) e equações de normalizações dos parâmetros de Euler.

No segundo tipo de modelo, a junta composta rotação-cilíndrica é separada em duas juntas simples: uma junta de rotação e outra junta cilíndrica. Isto é feito pois nesta dissertação ainda não se incluíram modelos de com juntas compostas. Entretanto, isto pode ser feito através de módulos que representam tais juntas. Estas são muito similares às juntas simples, e é preciso apenas um procedimento para cada tipo de junta composta. De qualquer forma, uma junta composta pode ser calculada através de duas juntas simples, como neste exemplo, e portanto, os dois modelos apresentarão os mesmos resultados.

No mecanismo biela-manivela, a junta de rotação A é composta pelo corpo da base 5 e pela manivela 1; a junta esférica B pela manivela 1 e pela haste de conexão 2; a junta de rotação C pela haste de conexão 2 e cilindro 3; a junta cilíndrica C pelo cilindro 3 e sapata 4; a junta de translação D pela sapata 4 e base 5. A figura a seguir ilustra a construção do mecanismo biela-manivela.

No apêndice B: IN5BODY, encontram-se informações mais detalhadas sobre a estrutura do mecanismo biela-manivela.

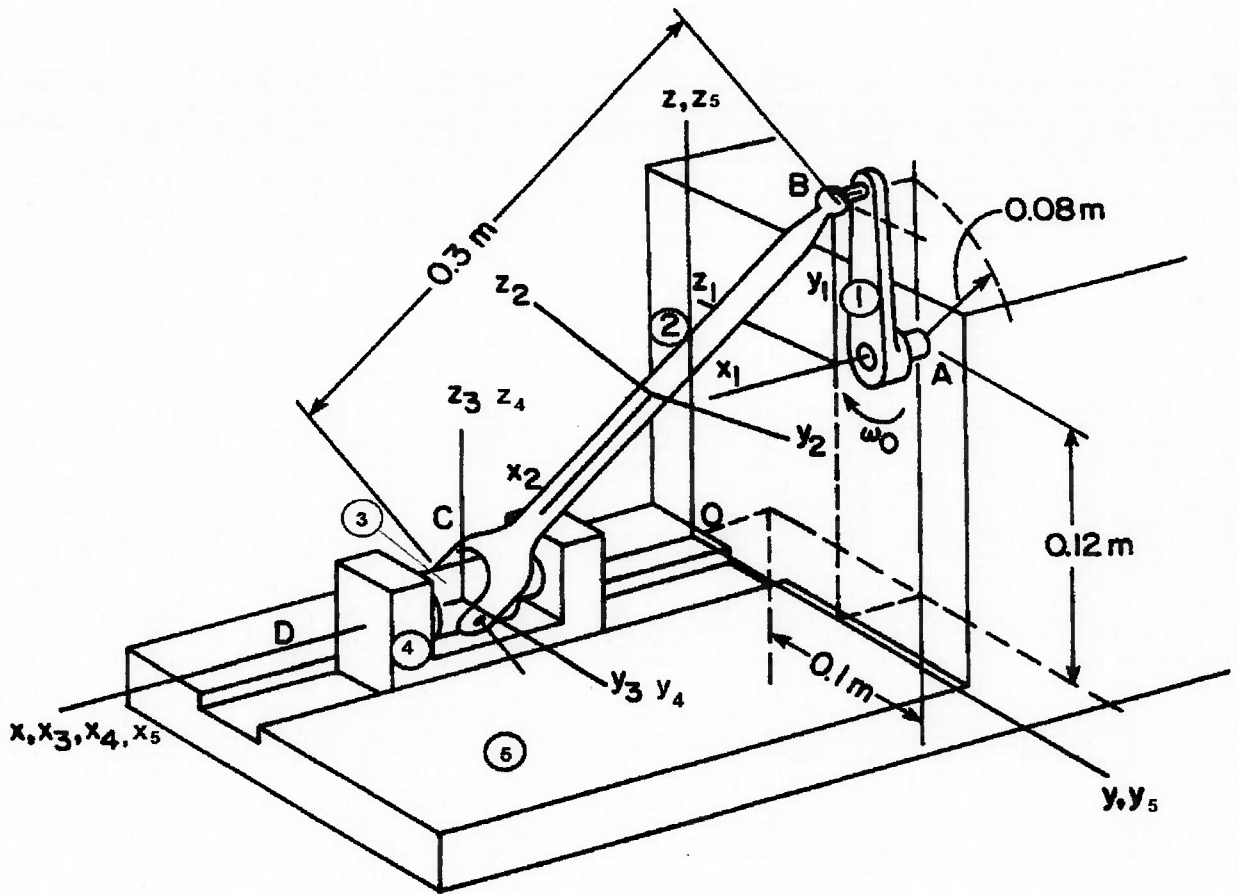


Figure 6.22 O mecanismo biela-manivela tridimensional.

Na referência [14] (páginas 400 e 401) são fornecidas a posição, a velocidade e a aceleração do ponto C do elemento deslizante como função do tempo. Estes valores são indicados nos gráficos dados a seguir. Estas mesmas variáveis foram calculadas pelo programa YOUNG, durante o mesmo período de tempo. Foram feitos os mesmos tipos de gráficos a fim de comparar os resultados, conforme indicado nas figuras apresentadas a seguir.

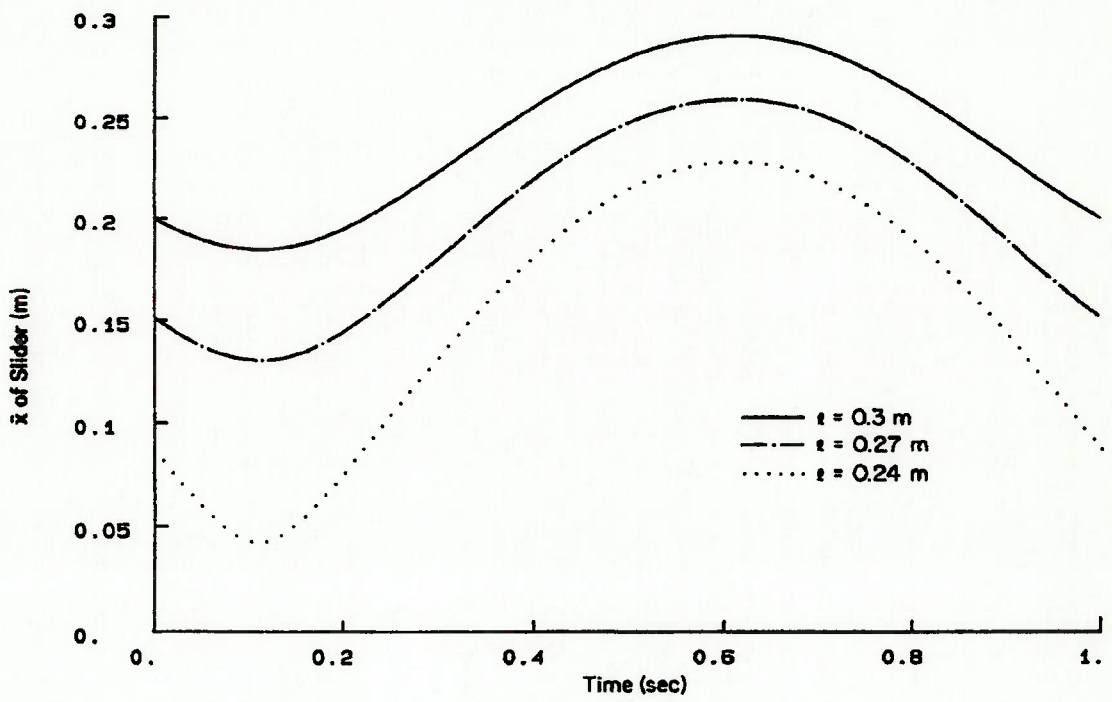


Figure 6.23  $x$  of slider versus time by DADS.[14]

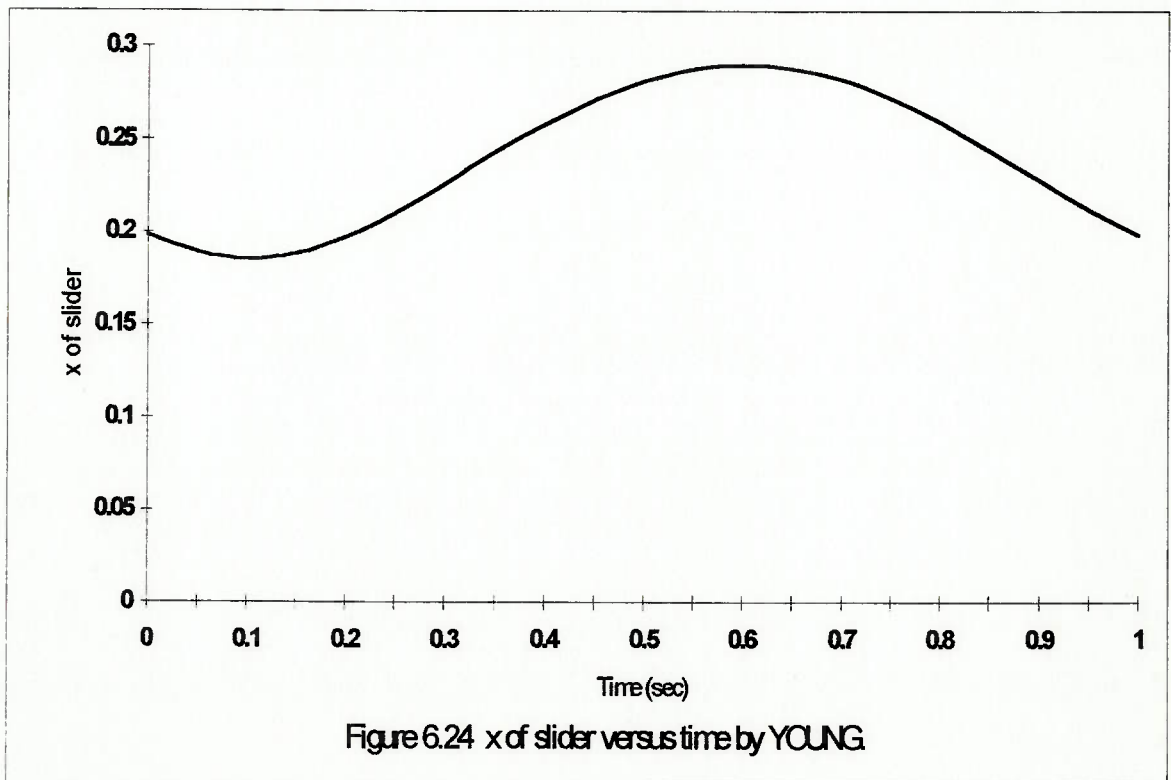


Figure 6.24  $x$  of slider versus time by YOUNG

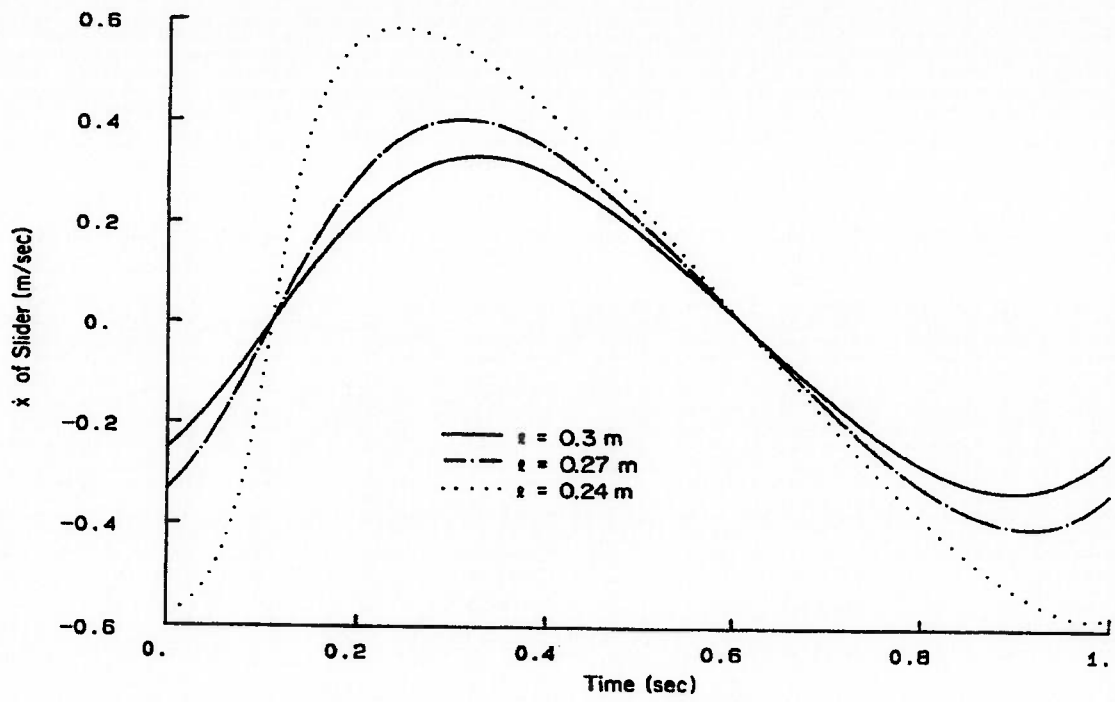


Figure 6.25  $\dot{x}$  of slider versus time. by DADS.[14]

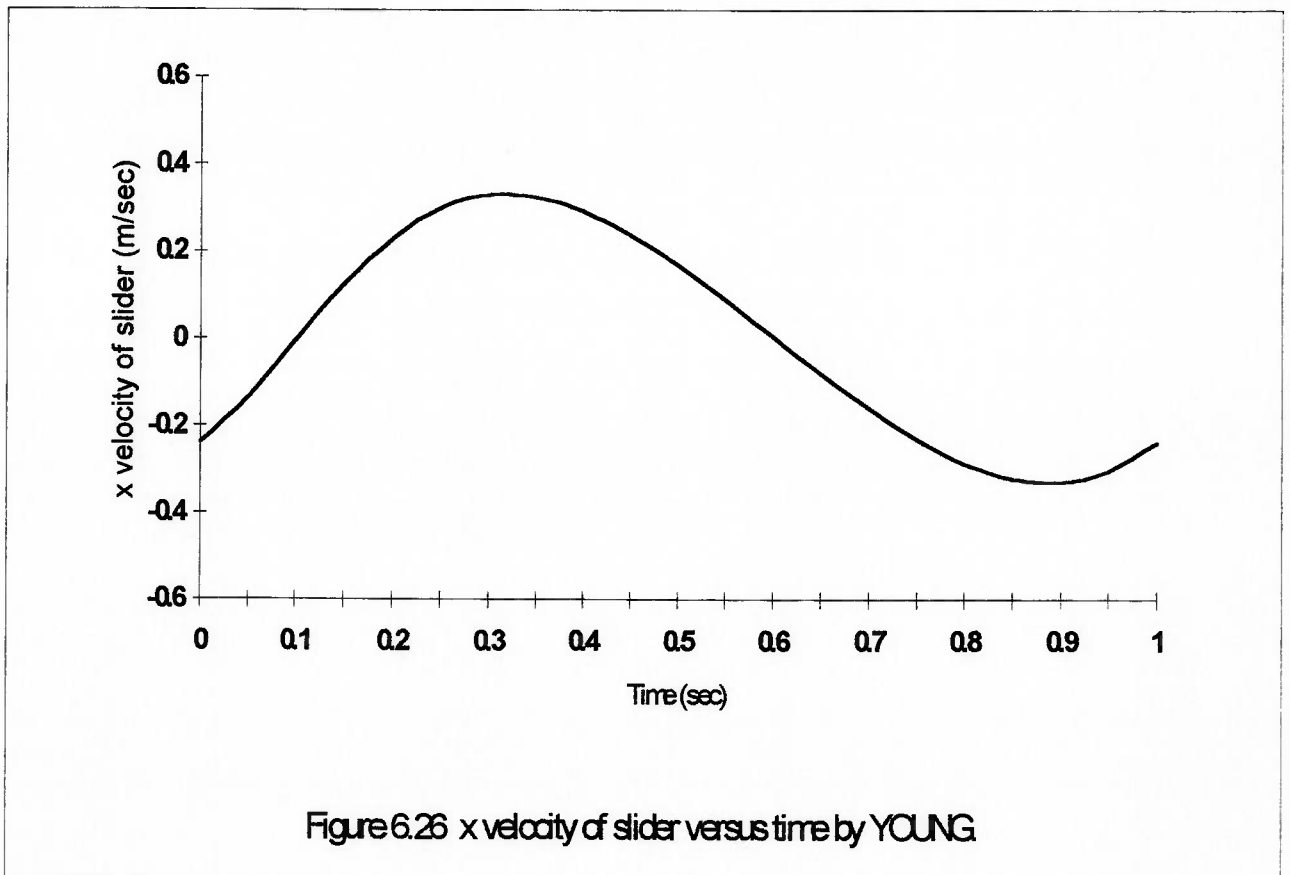


Figure 6.26  $\dot{x}$  velocity of slider versus time by YOUNG

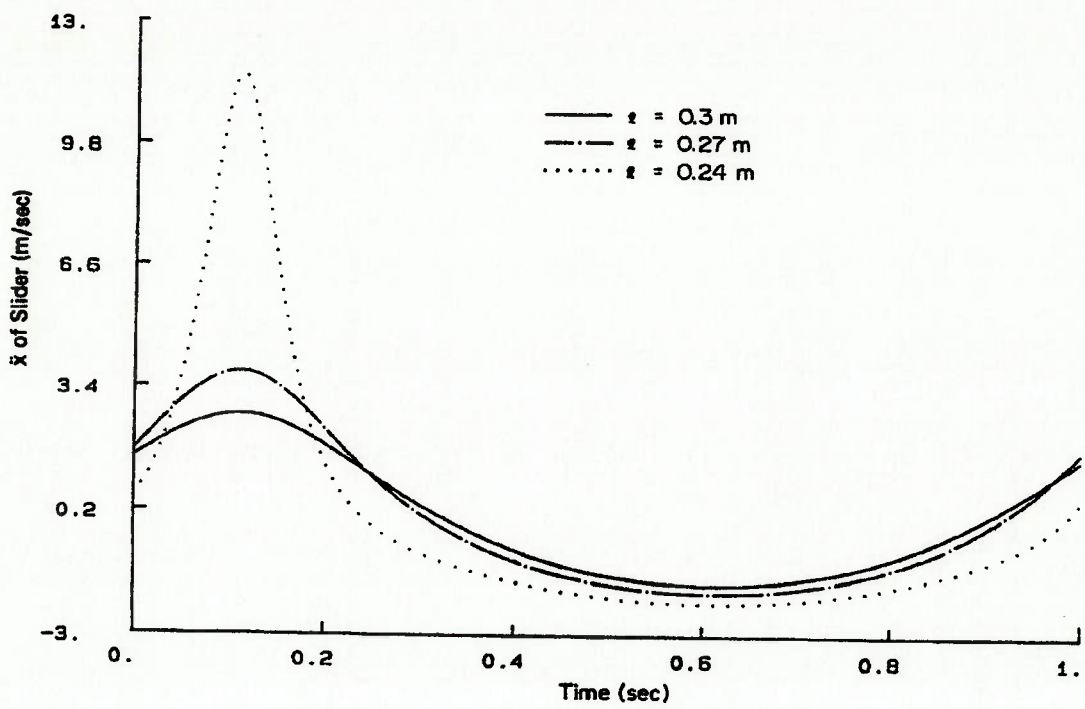


Figure 6.27  $\dot{x}$  of slider versus time by DADS.[14]

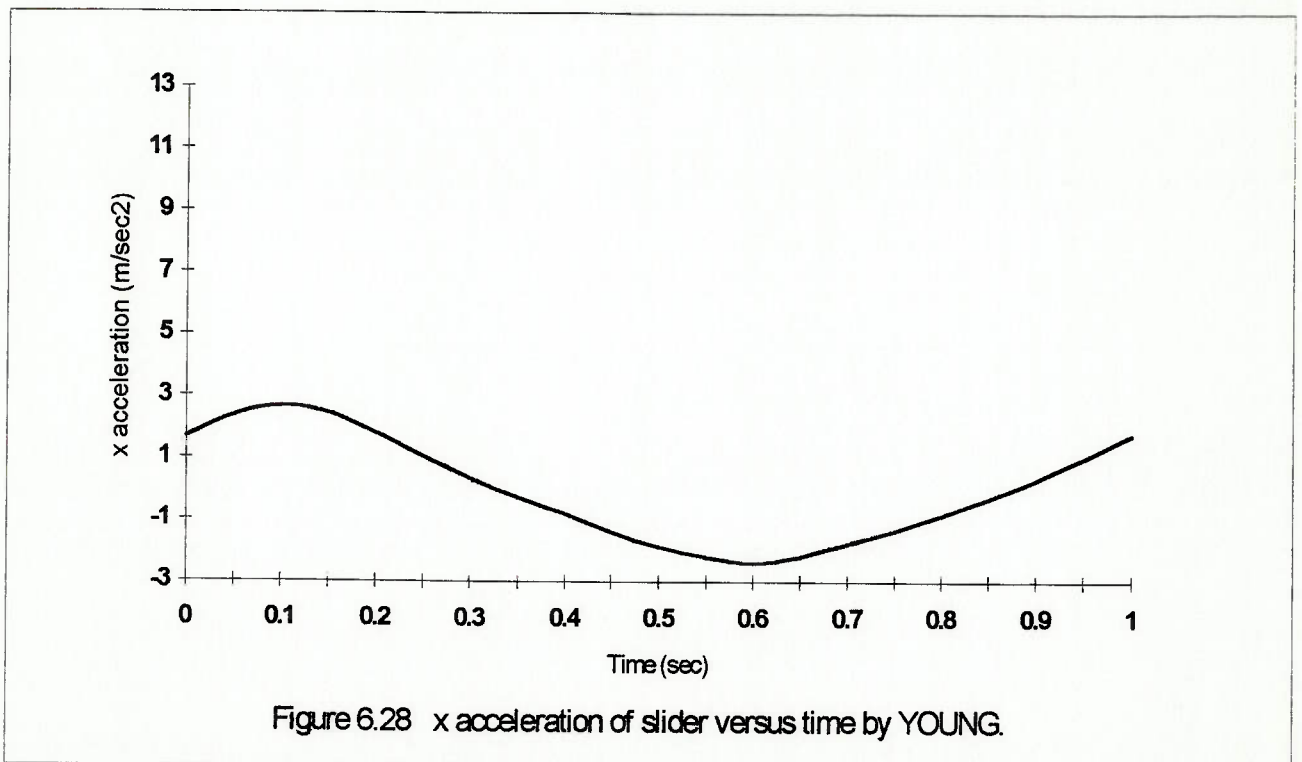


Figure 6.28 x acceleration of slider versus time by YOUNG.

Para informações mais detalhadas dos resultados de análise, veja Apendice B: OUT5BODY.

**Mecanismo:** Um mecanismo tridimensional do tipo R-S-S-R foi projetado pelo Prof Tarcisio, fabricado em alumínio, para realizar testes reais de otimizações dinâmicas. A figura a seguir ilustra a configuração do mecanismo em questão.

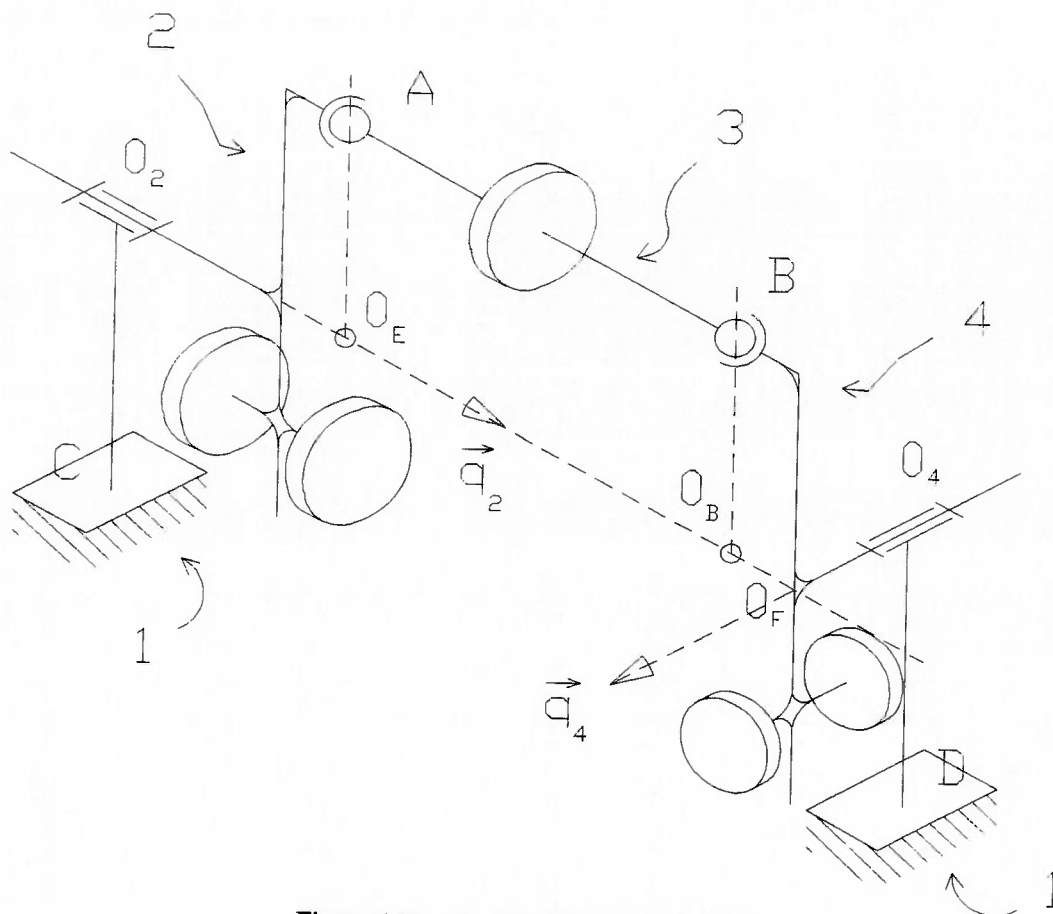


Figure 6.29 Um R-S-S-R tridimensional.

No Apêndice B: IN-RSSR são dadas informações detalhadas do mecanismo R-S-S-R.

**A matriz Jacobiana:** como o mecanismo consiste de quatro corpos, são necessárias 28 coordenadas, já levando em conta 3 coordenadas Cartezianas e 4 parâmetros de Euler para cada um. Portanto, serão necessárias 28 equações para todo o sistema. A matriz Jacobiana tem ordem de 28x28. Para se ter uma idéia do sistema, a matriz Jacobiana é apresentada na tabela 6.2 para  $T=T_0$ .

Na matriz Jacobiana, as três primeiras linhas são referentes à primeira junta esférica dos corpos 2 e 3, a qual inclui 3 equações de vínculo. As linhas de 4 a 6 referem-se a segunda junta esférica para os corpos 3 e 4 com mais 3 equações de vínculo, e as linhas de 7 a 11 e de 12 a 16 correspondem às duas juntas de rotação, para os corpos 1-2 e 1-4, respectivamente. Um vínculo simplificado atuante no corpo 3 é representada na linha 17. A vínculo de acionamento aparece nas linhas 18 e 19, e os vínculos relativos a corpo imóvel estão representados nas linhas de 20 a 25 da matriz. Finalmente, as linhas de 26 a 28 relacionam-se com as equações de normalizações dos parâmetros de Euler.

**Resultados:** na tabela 6.3 são comparados os resultados obtidos pelo Prof. Tarcisio através do programa ADAMS com os resultados do programa YOUNG. Nesta tabela é apresentada a precisão obtida no programa.

No APÊNDICE C são apresentados os resultados do Prof. Tarcisio e no APÊNDICE B (OUT-RSSR), os resultados do programa YOUNG.







# CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

## 7.1 Conclusões

Nesta dissertação desenvolveu-se o programa YOUNG. Escrito em linguagem Pascal ele possibilita a *análise cinemática de mecanismos espaciais*. Usa coordenadas cartesianas para definição do sistema e trabalha com parâmetros de Euler como coordenadas generalizadas de orientação. As equações do movimento são formuladas sistematicamente para então ser resolvidas numericamente pelo método de Newton-Raphson combinado com a fatoração L-U com pivotamento.

- 1) Nove tipos gerais de pares cinemáticos, isto é, junta esférica, junta universal, junta de rotação, junta cilíndrica, junta prismática, junta helicoidal, vínculo simplificado, vínculo de distância e vínculo motor, foram modelados e devidamente tratados para serem incluídos como módulos de programa.
- 2) Dezesseis exemplos foram especificamente projetados para permitir o ensaio e verificação, em separado, de cada um dos módulos de programa. Três outros exemplos complexos, formados por mecanismos reais, serviram para testes globais que incluísem quase todos os tipos de pares cinemáticos ou juntas. Os resultados foram comparados com os de outros autores, utilizando gráficos e tabelas numéricas.
- 3) No terceiro exemplo, um mecanismo espacial R-S-S-R, os resultados da análise cinemática são comparados com resultados obtidos usando o programa ADAMS, com objetivo de verificar a precisão obtida com o programa YOUNG. Os resultados de posição, velocidade, aceleração do ponto B da peça 3 (figura 8) foram calculados para uma volta completa da manivela motora. Como fica claro da tabela 6.3 as precisões médias dos resultados são, respectivamente, de  $-8.97 \times 10^{-3} \%$ ,  $-2.74 \times 10^{-3} \%$ , e  $3.43 \times 10^{-3} \%$ . Essas precisões são bastante elevadas podem ser alteradas e, eventualmente

aumentadas mudando as variáveis de controle de convergência tais como FEPS e EPSLU. Os parâmetros de Euler, como um conjunto de coordenadas generalizadas de orientação espacial, foram amplamente utilizados em todas as etapas dos cálculos cinemáticos. As vantagens da utilização dos parâmetros de Euler, quando confrontados com outros sistemas de coordenadas angulares como os ângulos de Euler (ver [8], Pg 347 e [7], Pg45) são significativas (ver também [20] e [21]). Neste caso as complicadas funções trigonométricas de delicada avaliação são substituídas pelos “quaternions” formados pelos parâmetros de Euler, apenas a partir dos quais fica viável o desenvolvimento de programas computacionais de uso geral.

4) O programa YOUNG é de pequeno porte, compatível com computadores de quase qualquer tamanho, desde que estejam disponíveis as necessárias unidades da linguagem TURBO PASCAL. O programa tem características que o tornam utilizável, após algum aprendizado, pelos engenheiros e estudantes de engenharia em geral, para fazer análise cinemática de um mecanismo genérico tridimensional. Como parte dos objetivos desta dissertação é um programa sem fins comerciais e aberto aos estudiosos de mecanismos.

## 7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Alguns pontos surgem de imediato como passíveis de desenvolvimento continuado:

- A) A análise de mecanismos comporta, pelo menos, duas etapas: a cinemática e a dinâmica. Nesta dissertação apenas a cinemática foi incluída. É, entretanto parte essencial e inicial da análise dinâmica. Esta pode ser incluída com relativa facilidade no programa proposto.
- B) Nesta dissertação foram estudados nove pares cinemáticos diferentes, para inclusão no programa YOUNG. Muito embora juntas mais complexas possam ser separadas em elementos compatíveis com os tipos disponíveis no programa, a inclusão de procedimentos que tratem de juntas ou pares compostos pode trazer maior eficiência ao usuário. Uma vez que é possível enquadrar esses procedimentos na mesma estrutura já

utilizada pelo programa para os pares mais simples, é viável ao usuário mais experiente desenvolvê-los para os casos de seu interesse particular.

C) As rotinas de entradas de dados ou de INPUT são muito importantes para facilidade e eficiência de uso do programa. Nesta dissertação o programa YOUNG pode receber dados diretamente do console segundo orientação passo a passo do usuário ou ainda captar todos os dados de um arquivo pré-preparado. Entretanto, dada a importância da fase de definição de um mecanismo espacial que inclui, ao lado dos dados numéricos, a confirmação de certas características do mecanismo e a definição de parâmetros críticos gerais, ela por si só pode representar uma área de pesquisa e gerar um programa independente.

D) Quanto à fase de saída de dados ou OUTPUT, é claro que a apresentação gráfica é muito mais palatável que a apresentação numérica. É evidente que uma continuação da presente investigação deve implicar no estudo da integração com programas gráficos de engenharia, como AUTOCAD e ALGOR ou ainda a um programa especificamente desenvolvido.

E) O programa YOUNG limita sua análise a um mecanismo com 10 elementos. Esta limitação está associada às limitações do próprio TURBO PASCAL. Embora este número relativamente baixo seja adequado para a análise da maioria dos mecanismos práticos, ainda assim pode-se estudar sua ampliação dentro da mesma linguagem e tipo de computador.

## BIBLIOGRAPHY

1. Shigley, J., E., **Kinematic Analysis of Mechanism**, McGraw-Hill, Michigan, 1969, 2th edition.
2. Rolland, T., H., **Kinematics of Machines**, Prentice-Hall, Michigan, 1960, 2th edition.
3. Grant, R., F., **Analytical Mechanics**, Holt, New York, 1962.
4. Fred, B., Seely and newton, E., E., and Paul, G., J., **Analytical Mechanics for Engineers**, John Wiley & Sons, New York, 1967, 5th edition.
5. Beyer, R., **The Kinematic Synthesis of Mechanisms**, McGraw-Hill, New York, 1963.
6. Paul, B., **Kinematics and Dynamics of Planar Machinery**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1979.
7. C.H. Suh and C.W. Radcliffe, **Kinematics And Mechanisms Design**, Canada, John Wiley & Sons, 1978.
8. Nikravesh, P. E., **Computer-Aided Analysis of Mechanical Systems**, New Jersey, Presentice Hall, 1988.
9. Z. Huang and Wang H. B., *Dynamic Force analysis of n-d.f. multiloop complex spatial Mechanisms* **Mech. Mach. Theory**, Vol. 27, No. 1, pp. 97-105, 1992.
10. Hong-You Lee and Chong-Gao Liang, *Displacement analysis of the general spatial 7-link 7R mechanism* **Mech. Mach. Theory**, Vol. 23, No. 3, pp. 219-226, 1988.
11. Pietro F. and Carlo G., *Particular or general methods in robot kinematic? Both particular and general*, **Mech. Mach. Theory** Vol. 24, No. 5, pp. 383-394, 1989.
12. Conti, C. and Corron, P., *A computer-aided kinematic analysis system for mechanism design and computer simulation*, **Mech. Mach. Theory** Vol. 27, No.5, pp 563-574, 1992.
13. Liu Yanzhu, *Screw-matrix method in dynamics of multibody systems*, **ACTA MECHANICA SINICA**, Vol. 4, No. 2, May, 1988.
14. Haug Edward J, **Computer Aided Kinematics And Dynamics Of Mechanical Systems**, Volume I: Basic Methods, 1989.

15. Werner Schiehlen (editor), **Multibody Systems Handbook**, Germany, 1990.
16. W., Schiehlen, **Advanced Multibody System Dynamic**, Kluwer Academic Publishers, Germany, 1993.
17. Chung Ha Suh, Modeling the McPherson Suspension, **Computers in Mechanical Engineering**, Vol.52, September, October, 1988.
18. Hong-You Lee, Chong-Gao Liang, *Displacement Analysis of Spatial 7-link 6R-P Linkages*, **Mech. Mach. Theory**, Vol. 22, No. 1, pp. 1-11, 1987.
19. Youngil Youm and T. C. Huang, *Exact Displacement Analysis of XCCC Spatial Mechanisms By The Direction Cosine Matrix Method*, **Mech. Mach. Theory**, Vol. 25, No. 1, pp. 85-96, 1990.
20. Lee, K. W.; Yoon, Y. S. *Kinematic synthesis of RRSS spatial motion generators using Euler parameters and quaternion algebra*, **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, V.207, No.5 1993.
21. Russell, A.P. *Global Transformation of Rotation Matrices to Euler Parameters* **J. GUIDANCE, CONTROL, and Dynamics**, Vol. 15, NO. 5 Sep-Oct 1992.
22. A.,T., Yang and F., Freudenstein, *Application of Dual-number Quaternion Algebra to the Analysis of Spatial mechanisms*, **Transactions of the ASME**, 1964, June, 300-308.

## Appendix A

{PROGRAM YOUNG\_0 is the main program for analysis the kinematic of spatial mechanism. }

```
{M 65520 0 655360}
```

```
USES DOS,CRT, YOUNG_1, YOUNG_2, YOUNG_3, YOUNG_4;
VAR input1,output1:TEXT;
LABEL fim;
```

```
BEGIN
CL:RSCR;
{ASSIGN(input,'IN1-4-1.PAS');
ASSIGN(output,'OUT1-4-1.PAS');}
{ASSIGN(input,'IN-RSSR.PAS');
ASSIGN(output,'OUT-RSSR.PAS');}
ASSIGN(input,'IN5BODY.PAS');
ASSIGN(output,'OUT5BODY.PAS');}
ASSIGN(input,'IN4-BAR.PAS');
ASSIGN(output,'OUT4-BAR.PAS');}
RESET(input);
REWRITE(output);
NEW(A);
NEW(JA);
```

```
FOR M:=1 TO 70 DO
FOR N:=1 TO 70 DO
BEGIN
```

```
A^Q[M,N]:=0;
A^QBODY[M,N]:=0;
A^F[M]:=0;
A^W[M]:=0;
A^B[M,N]:=0;
A^FQ[M,N]:=0;
A^QD[M,N]:=0;
A^QDD[M,N]:=0;
A^QM[N]:=0;
A^BODY[M,N]:=0;
A^DRIVE[M,N]:=0;
A^GROUN[M,N]:=0;
A^POINT[M,N]:=0;
A^SPHER[M,N]:=0;
A^UNIVE[M,N]:=0;
A^REVOL[M,N]:=0;
A^CYLIN[M,N]:=0;
A^TRANS[M,N]:=0;
A^SCREW[M,N]:=0;
```

## Main program YOUNG\_0

```
A^.SIMPL[M]:=0;
```

```
IA^.IDRIVE[M,N]:=0;
IA^.IGROUN[M,N]:=0;
IA^.IPOINT[M]:=0;
IA^.ISPHER[M,N]:=0;
IA^.IUNIVE[M,N]:=0;
IA^.IREVOL[M,N]:=0;
IA^.ICYLIN[M,N]:=0;
IA^.ITRANS[M,N]:=0;
IA^.ISCREW[M,N]:=0;
IA^.ISIMPL[M,N]:=0;
IA^.ICOL[M]:=0;
END;
```

```
{read numbers of bodies,drivers,and all kinds of joints}
```

```
WRITELN(output,'ENTER NUMBER OF');
WRITELN(output,'body : NBODY');
WRITELN(output,'driver: NDRIVE');
WRITELN(output,'points of interest: NPOINT);
WRITELN(output,'spherical joints: NSPHER');
WRITELN(output,'universal joints: NUNIVE');
WRITELN(output,'revolute joints: NREVOL');
WRITELN(output,'cylindrical joints: NCYLIN');
WRITELN(output,'translational joints: NTRANS');
WRITELN(output,'screw joints: NSCREW');
WRITELN(output,'simplified constraint: NSIMPL');
WRITELN(output,'distance constraint: NSIMP2');
WRITELN(output,'grounded body: NGROUND');
READ(input,NBODY, NDRIVE, NPOINT, NSPHER, NUNIVE, NREVOL, NCYLIN, NTRANS,
NSCREW, NSIMPL, NSIMP2, NGROUND);
WRITELN(output, NBODY:3, NDRIVE:3, NPOINT:3, NSPHER:3, NUNIVE:3, NREVOL:3, NCYL
IN:3, NTRANS:3;
```

```
NSCREW:3, NSIMPL:3, NSIMP2:3, NGROUND:3);
```

```
{determine number of coordinates N and number of constraints M}
```

```
N:=6*NBODY;
```

```
M:=3*NSPHER+4*NUNIVE+5*NREVOL+4*NCYLIN+5*NTRANS+5*NSCREW+NSIMPL+
6*NGROUN
+NDRIVE+NSIMP2;
```

```
{N must be equal to M (including the driver constraints)}
```

```
IF(M<>N) THEN
```

```
BEGIN
```

```
WRITELN(output,'--- INPUT ERROR ---N= ',N:3, ', M= ',M:3);
```

```
WRITELN(output,'The coordinates number N must be equal to the constraint number M');
```



```

GOTO fjm;
END;
writeh('reading data from MECHANISM.INP ...');
{-1--read initial estimates on the coordinates}
IF (NBODY>0) THEN IN_BODY(A^,QBODY,NBODY);
{-2--read driver constraints data}
IF (NDRIVE>0) THEN IN_DRIVE(A^,DRIVE,IA^,IDRIVE,NDRIVE);
{-3--read special points of interest data}
IF (NPOINT>0) THEN IN_POINT(A^,POINT,IA^,IPOINT,NPOINT);
{-4--read spherical joints data}
IF (NSPHER>0) THEN IN_SPHER(A^,SPHER,IA^,ISPHER,NSPHER);
{-5--read universal joints data}
IF (NUNIVE>0) THEN IN_UNIVE(A^,UNIVE,IA^,IUNIVE,NUNIVE);
{-6--read revolute joints data}
IF (NREVOL>0) THEN IN_REVOL(A^,REVOL,IA^,IREVOL,NREVOL);
{-7--read cylindrical joints data}
IF (NCYLIN>0) THEN IN_CYLIN(A^,CYLIN,IA^,ICYLIN,NCYLIN);
{-8--read translational joints data}
IF (NTRANS>0) THEN IN_TRANS(A^,TRANS,IA^,ITRANS,NTRANS);
{-9--read screw joints data}
IF (NSCREW>0) THEN IN_SCREW(A^,SCREW,IA^,ISCREW,NSCREW);
{-10--read simplified constraints data}
IF (NSIMPL>0) THEN IN_SIMPL(A^,SIMPL,IA^,ISIMPL,NSIMPL);
{-11--read distance constraints data}
IF (NSIMP2>0) THEN IN_SIMP2(A^,SIMP2,IA^,ISIMP2,NSIMP2);
{-12--read ground constraints data}
IF (NGROUN>0) THEN IN_GROUN(A^,GROUN,IA^,IGROUN,NGROUN);

{---read initial time, final time, and the time increment}
WRITELN(output,'-----*-----*-----');
WRITELN(output,ENTER STARTING TIME: Ti, FINAL TIME: Te, AND dT);
READ(input,Ti,Te,dT);
WRITELN(output,'Ti:5.2; ',Te:5.2; ',dT:5.2);

{------end of input data-----}

NRMAX=250; {max number for iteration of Newton-Raphson}
FEPS=0.0001; {max error allowed for constraint violation}
EPSLU=0.00001; {error tolerance for L-U algorithm}

{READ(input,NRMAX, FEPS, EPSLU);}
{------start Kinematic Analysis-----}

```

```

KINEM(A,IA,EPSLU,FEPS,NRMAX);
fjm:CLOSE(input);
END.

```

UNIT YOUNG\_1;

{this unit is used for inputting all datas}

INTERFACE

CONST

maxA=10000;

maxIA=500;

{for more space in A and IA, increase these two numbers}

TYPE

```
{Mmax=ARRAY[1..maxA]OF REAL; Nmax=ARRAY[1..2*maxIA]OF INTEGER;}
M3X4=ARRAY[1..3,1..4]OF REAL; M3X3=ARRAY[1..3,1..3]OF REAL;
M4X4=ARRAY[1..4,1..4]OF REAL; M3X1=ARRAY[1..3] OF REAL;
M4X1=ARRAY[1..4] OF REAL; M6X1=ARRAY[1..6] OF REAL;
M8X1=ARRAY[1..8] OF REAL; M10X1=ARRAY[1..10] OF REAL;
M70X1=ARRAY[1..70] OF REAL; M3X6=ARRAY[1..3,1..6]OF REAL;
M10X3=ARRAY[1..10,1..3]OF REAL; M10X6=ARRAY[1..10,1..6]OF REAL;
M4X12=ARRAY[1..4,1..12]OF REAL; M4X19=ARRAY[1..4,1..19]OF REAL;
M3X18=ARRAY[1..3,1..18]OF REAL; M18X1=ARRAY[1..18]OF REAL;
M10X7=ARRAY[1..10,1..7]OF REAL; M7X10=ARRAY[1..7,1..10]OF REAL;
M70X7=ARRAY[1..70,1..7]OF REAL; M70X8=ARRAY[1..70,1..8]OF REAL;
```

```
N70X1=ARRAY[1..70]OF INTEGER; N5X3=ARRAY[1..5,1..3]OF INTEGER;
N36X2=ARRAY[1..36,1..2]OF INTEGER; N3X2=ARRAY[1..3,1..2]OF INTEGER;
N10X1=ARRAY[1..10]OF INTEGER; N3X1=ARRAY[1..3] OF INTEGER;
```

ATYPE=^ARECORD; IATYPE=^IARECORD;

ARECORD=RECORD

QBODY:M10X7; F,W:M70X1;

FQ:M70X70; QD:M10X7;

QDD:M10X7; Q,B:M10X7; BODY:M10X7;

DRIVE:M4X12; GROUND:M18X1;

POINT:M10X3; SPHER:M3X6;

UNIVE:M4X12; REVOL:M4X12;

CYLIN:M4X12; TRANS:M3X18;

SCREW:M4X19; SIMPL:M18X1; SIMP2:M18X1;

END;

IARECORD=RECORD

IDRIVE:N3X2; IGROUND:N36X2;

IPOINT:N10X1; ISPHER:N3X2;

IUNIVE:N3X2; IREVOL:N3X2;

```
ICYLIN:N3X2; ITRANS:N3X2;
ISCREW:N3X2; ISIMPL:N36X2;
ISIMP2:N5X3; ICOL:N70X1;
END;
```

VAR

I,J,K,L,NBODY,NDRIVE,NPOINT,NSPHER,NUNIVE,NREVOL,NCYLIN,

NTRANS,NSCREW,NSIMPL,NSIMP2,NGROUND,N,N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,  
N10,N11,N12,N14,N15,N16,N17,N18,N19,M,M1,M2,M3,M4,M5,M6,  
M7,M8,M9,M10,M11,M12,Nused,Mused,NRMAX,MM,NN,JACOB,IFNCT,  
LN,LU,IR,III,SINAL,INTEGER;

DO,DS,COSQ,SINQ,COS0,DELTA,DELTA2,OCOS,QCOS,  
FEPS,EPSLU,I,Ti,Te,dT,EPS:REAL;

{A:Mmax; IA:Nmax;}

QBODY:M10X7; F,W,C:M70X1; FQ:M70X70; QD:M10X7;

QDD:M10X7; Q,B:M10X7; BODY:M10X7; ICOL:N70X1;

DRIVE:M4X12; IDRIVE:N3X2; GROUND:M18X1; IGROUND:N36X2;

POINT:M10X3; IPOINT:N10X1; SPHER:M3X6; ISPHER:N3X2;

UNIVE:M4X12; IUNIVE:N3X2; REVOL:M4X12; IREVOL:N3X2;

CYLIN:M4X12; ICYLIN:N3X2; TRANS:M3X18; ITRANS:N3X2;

SCREW:M4X19; ISCREW:N3X2; SIMPL:M18X1; ISIMPL:N36X2;

SIMP2:M18X1; ISIMP2:N5X3;

A:ATYPE; IA:IATYPE;

input1,output1:TEXT;

(\*1\*) PROCEDURE IN\_BODY (VAR QBODY:M10X7;NBODY:INTEGER);

(\*2\*) PROCEDURE IN\_DRIVE(VAR DRIVE:M4X12; VAR

IDRIVE:N3X2;NDRIVE:INTEGER);

(\*3\*) PROCEDURE IN\_POINT(VAR POINT:M10X3; VAR

IPOINT:N10X1;NPOINT:INTEGER);

(\*4\*) PROCEDURE IN\_SPHER(VAR SPHER:M3X6; VAR ISPHER:N3X2;NSPHER:INTEGER);

(\*5\*) PROCEDURE IN\_UNIVE(VAR UNIVE:M4X12; VAR

IUNIVE:N3X2;NUNIVE:INTEGER);

(\*6\*) PROCEDURE IN\_REVOL(VAR REVOL:M4X12; VAR

IREVOL:N3X2;NREVOL:INTEGER);

(\*7\*) PROCEDURE IN\_CYLIN(VAR CYLIN:M4X12; VAR ICYLIN:N3X2;NCYLIN:INTEGER);

(\*8\*) PROCEDURE IN\_TRANS(VAR TRANS:M3X18; VAR

ITRANS:N3X2;NTRANS:INTEGER);

```
(*9*)PROCEDURE IN SCREW(VAR SCREW:M4X19;VAR
ISCREW:N3X2;NSCREW:INTEGER);
(*10*)PROCEDURE IN_SIMPL(VAR SIMPL:M18X1;VAR
ISIMPL:N36X2;NSIMPL:INTEGER);
(*11*)PROCEDURE IN_SIMP2(VAR SIMP2:M18X1;VAR ISIMP2:N5X3;NSIMP2:INTEGER);
(*12*)PROCEDURE IN_GROUN(VAR GROUN:M18X1;VAR
IGROUN:N36X2;NGROUN:INTEGER);
(*12*)PROCEDURE OPEN;
```

## IMPLEMENTATION

```
{-----1-----}
PROCEDURE IN_BODY;
{this procedure is used to get the original point for local coordinate}
```

BEGIN

FOR K:=1 TO NBODY DO

BEGIN

```
WRITELN(output,'FOR BODY 'K,' ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0
E1,E2,E3');
```

FOR J:=1 TO 7 DO

READ(input,QBODY[K,J]);

```
{here define the Euler parameters e0=1,e1,e2,e3=0 =>parallel coordinate}
```

{ QBODY[K,4]=1;

FOR J:=5 TO 7 DO

QBODY[K,J]=0;

FOR J:=1 TO 7 DO

WRITE(output,QBODY[K,J]:6:2);

WRITELN(output,");

END;

END;

```
{-----2-----}
PROCEDURE IN_DRIVE;
```

```
{this one is for getting drivers data}
BEGIN
```

FOR K:=1 TO NDRIVE DO

BEGIN

WRITELN(output,'FOR DRIVER No 'NDRIVE);

WRITELN(output,' ENTER BODY No ');

```
READ(input,IDRIVE[K,1]);
WRITELN(output,IDRIVE[K,1]:3);
WRITELN(output,'ENTER DRIVER CONSTRAINT');
WRITELN(output,' NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA');
READ(input,IDRIVE[K,2]);
WRITELN(output,IDRIVE[K,2]:3);
WRITELN(output,'ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION');
FOR L:=1 TO 3 DO READ(input,DRIVE[K,L]);
FOR L:=1 TO 3 DO WRITE(output,DRIVE[K,L]:8:2);
WRITELN(output,");
END;
```

```
{-----3-----}
PROCEDURE IN_POINT;
```

```
{this is for input points of interest}
BEGIN
```

FOR K:=1 TO NPOINT DO

BEGIN

WRITELN(output,'FOR POINT OF INTEREST No 'K);

WRITELN(output,' ENTER BODY No ');

READ(input,IPOINT[K]);

WRITE(output,IPOINT[K]:3);

WRITELN(output,");

END;

WRITELN(output,'ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT');

FOR L:=1 TO 3 DO READ(input,POINT[K,L]);

FOR L:=1 TO 3 DO WRITE(output,POINT[K,L]:6:2);

WRITELN(output,");

END;

```
{-----4-----}
PROCEDURE IN_SPHER;
```

```
{this is for input spherical joint data}
BEGIN
```

FOR K:=1 TO NSPHER DO

BEGIN

WRITELN(output,'FOR SPHERICAL JOINT No 'K);

WRITELN(output,' ENTER BODY No I &amp; J');

FOR L:=1 TO 2 DO READ(input,ISPHER[K,L]);

FOR L:=1 TO 2 DO WRITE(output,ISPHER[K,L]:3);

WRITELN(output,");

WRITELN(output,'ENTER LOCAL COORDINATES OF JOINT POINT');

```

FOR L:=1 TO 6 DO READ(input,SPHER[K,L]);
FOR L:=1 TO 6 DO WRITE(output,SPHER[K,L]:6:2);
WRITELN(output,");
END;

{-----5-----}
PROCEDURE IN_UNIVE;
{this is for input universal joint data}
BEGIN
FOR K:=1 TO NUNIVE DO
BEGIN
WRITELN(output, 'FOR UNIVERSAL JOINT No ',K);
WRITELN(output, ' ENTER BODY No I & J ');
FOR L:=1 TO 2 DO READ(input,IUNIVE[K,L]);
FOR L:=1 TO 2 DO WRITE(output,IUNIVE[K,L]:3);
WRITELN(output,");
WRITELN(output, 'ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS');
FOR L:=1 TO 12 DO READ(input,UNIVE[K,L]);
FOR L:=1 TO 12 DO WRITE(output,UNIVE[K,L]:6:2);
WRITELN(output,");
END;
END;

{-----6-----}
PROCEDURE IN_REVOL;
{this is for input revolute joint data}
BEGIN
FOR K:=1 TO NREVOL DO
BEGIN
WRITELN(output, 'FOR REVOLUTE JOINT No ',K);
WRITELN(output, ' ENTER BODY No I & J ');
READ(input,IREVOL[K,1],IREVOL[K,2]);
WRITE(output,IREVOL[K,1]:3,IREVOL[K,2]:3);
WRITELN(output,");
WRITELN(output, 'ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS Pij,Oi,Qj');
FOR L:=1 TO 12 DO READ(input,REVOL[K,L]);
FOR L:=1 TO 12 DO WRITE(output,REVOL[K,L]:6:2);
WRITELN(output,");
END;
END;

{-----7-----}
PROCEDURE IN_CYLIN;
{this is for input cylindrical joint data}
BEGIN
FOR K:=1 TO NCYLIN DO
BEGIN
WRITELN(output, 'FOR CYLINDRICAL JOINT No ',K);
WRITELN(output, ' ENTER BODY No I & J ');
READ(input,ICYLIN[K,1],ICYLIN[K,2]);
WRITE(output,ICYLIN[K,1]:3,ICYLIN[K,2]:3);
WRITELN(output,");
WRITELN(output, 'ENTER LOCAL COORDINATES OF 4 POINTS: 2 ON AXIS, 2 ON EACH BODY');
FOR L:=1 TO 12 DO READ(input,CYLIN[K,L]);
FOR L:=1 TO 12 DO WRITE(output,CYLIN[K,L]:6:2);
WRITELN(output,");
END;
END;

{-----8-----}
PROCEDURE IN_TRANS;
{this is for input translational joint data}
BEGIN
FOR K:=1 TO NTRANS DO
BEGIN
WRITELN(output, 'FOR TRANSLATIONAL JOINTS No ',K);
WRITELN(output, ' ENTER BODY No I & J ');
READ(input,ITRANS[K,1],ITRANS[K,2]);
WRITE(output,ITRANS[K,1]:3,ITRANS[K,2]:3);
WRITELN(output,");
WRITELN(output, 'ENTER LOCAL COORDINATES OF 6 POINTS, 3 ON EACH BODY');
FOR L:=1 TO 18 DO READ(input,TRANS[K,L]);
FOR L:=1 TO 18 DO WRITE(output,TRANS[K,L]:6:2);
WRITELN(output,");
END;
END;

{-----9-----}
PROCEDURE IN_SCREW;
{this is for input screw joint data}
BEGIN
FOR K:=1 TO NSCREW DO

```

```

BEGIN
WRITELN(output,'FOR SCREW JOINT No ,K);
WRITELN(output,' ENTER BODY No I & J ');
READ(input,ISCREW[K,1],ISCREW[K,2]);
WRITE(output,ISCREW[K,1],ISCREW[K,2]);
WRITELN(output,"");
WRITELN(output,'ENTER LOCAL COORDINATES OF 6 POINTS,3 ON EACH
BODY, 4 ON AXIS');
FOR L:=1 TO 19 DO READ(input,SCREW[K,L]);
FOR L:=1 TO 19 DO WRITE(output,SCREW[K,L]:6:2);
WRITELN(output,"");
END;
END;
{-----10-----}
PROCEDURE IN_SIMPL;
{this is for input simplified constraints}
BEGIN
FOR K:=1 TO NSIMPL DO
BEGIN
WRITELN(output,'FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No ,K);
WRITELN(output,' ENTER BODY No. ');
READ(input,ISIMPL[K,1]);
WRITE(output,ISIMPL[K,1]:3);
WRITELN(output,"");
WRITELN(output,'ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis
is Y),DELTA(axis is Z)');
READ(input,ISIMP2[K,3]);
WRITE(output,ISIMP2[K,3]:3);
WRITELN(output,"");
WRITELN(output,'ENTER VALUES OF DISTANCE');
READ(input,SIMP2[K]);
WRITE(output,SIMP2[K]:6:2);
WRITELN(output,"");
END;
END;
{-----12-----}
PROCEDURE IN_GROUND;
{this is for input grounded body}
VAR IGROUND-INTEGER;
BEGIN
FOR K:=1 TO NGROUND DO
BEGIN
WRITELN(output,'ENTER BODY No FOR No ,K,' GROUNDDED BODY');
READ(input,IGROUND);
FOR L:=1 TO 6 DO
IGROUND[6*(K-1)+L,1]:=IGROUND;
WRITE(output,IGROUND[K,1]);
WRITELN(output,"");
WRITELN(output,'ENTER BODY ,IGROUND[K,1], COORDINATES');
FOR L:=1 TO 6 DO
BEGIN
IGROUND[6*(K-1)+L,2]:=L;
READ(input,GROUND[6*(K-1)+L]);
END;
END;
FOR L:=1 TO 6 DO WRITE(output,IGROUND[6*(K-1)+L,1]:2,
IGROUND[6*(K-1)+L,2]:2, GROUND[6*(K-1)+L]:6:2);
WRITELN(output,"");
END;
END;
{-----13-----}

```

```
PROCEDURE OPEN;  
BEGIN  
  {  
  ASSIGN(input,'INPUT1.PAS');  
  ASSIGN(OUTPUT,'OUTPUT1.PAS');  
  RESET(input1);  
  REWRITE(output1);  
  NEW(A);  
  NEW(IA);  
  }  
END;  
  
END.
```

```

UNIT YOUNG_2;
{this unit is for kinematic analysis}

INTERFACE
USES YOUNG_1, YOUNG_3, YOUNG_4, CRT;

TYPE
  A00=ARRAY[1..10,1..10] OF REAL;
  A1=ARRAY[1..150] OF INTEGER;
  A2=ARRAY[1..150] OF REAL;
VAR
  MN,I,IR,IJ:INTEGER;
  EPSLU,T:REAL;
  Istep:INTEGER;
  {LA:A00;ICOL:A1;N:INTEGER;
  C,W:A2;}
  (*1*) PROCEDURE KINEM(VAR A:ATYPE; VAR
  IA:ATYPE;EPSLU,FPS:REAL;NRMAX:INTEGER);
  (*2*) PROCEDURE TRANSBODY(VAR BODY:M10X7; VAR QBODY:M10X7; VAR
  NBODY:INTEGER);
  (*3*) PROCEDURE NUTON2(VAR A:ATYPE; VAR IA:ATYPE; VAR Q:M10X7; VAR
  F:M70X1;
  VAR NBODY,JACOB:INTEGER);
  (*4*) PROCEDURE FUNCT(VAR A:ATYPE; VAR IA:ATYPE; VAR Q:M10X7; VAR
  QD:M10X7;
  VAR FQ,M70X70; VAR F:M70X1; VAR JACOB:INTEGER;II:INTEGER);
  (*5*) PROCEDURE LINEAR(VAR LA:M70X70; VAR C:M70X1; VAR W:M70X1; VAR
  ICOL:N70X1;
  { A:ATYPE; VAR IA:ATYPE; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1;
  VAR W:M70X1; VAR ICOL:N70X1;} VAR LN,ILU:INTEGER;
  VAR EPS:REAL);
  (*6*) PROCEDURE LU(VAR LA:M70X70; VAR ICOL:N70X1; VAR N:INTEGER; VAR
  EPS:REAL);
  (*7*) PROCEDURE TRANSF(VAR B:M10X7; VAR F:M70X1);
  (*8*) PROCEDURE REPORT(VAR A:ATYPE; VAR IA:ATYPE; VAR BODY:M10X7; VAR
  POINT:
  M10X3; VAR Q,QD,QDD:M10X7; VAR IPOINT:N10X1; VAR NBODY,
  NPOINT:INTEGER; VAR T:REAL);

IMPLEMENTATION

CONST
  NRMAL=150;
  {FEPS=1;
  EPSLU=1;
  EPS=1;}
  VAR
  STOP:INTEGER;
  {-----I-----}
  PROCEDURE KINEM;

  LABEL 10, fim;
  BEGIN
  {CLRSCR;}

  WRITELN('output,');
  WRITELN('output,');
  WRITELN('output,');
  WRITELN('output,');
  {Initialize time variable}
  Istep:=0;
  T:=Ti;

  {Calculate e0 and transfer e1 e2 e3 of Euler parameters}
  FOR I:=1 TO NBODY DO
  BEGIN
  FOR J:=1 TO 7 DO A^Q[I,J]:=A^QBODY[I,J];
  { A^Q[I,4]=SQRT(1-SQR(A^Q[I,5])+SQR(A^Q[I,6])+SQR(A^Q[I,7]));}
  END;

  10: {position (coordinate) analysis}
  {writeln('calculating...');}
  JACOB:=1;
  IFNCT:=1;
  FOR M:=1 TO 7*NBODY DO A^F[M]:=0;
  NUTON2(A,IA,A^Q,A^F,NBODY,JACOB);
  {FOR I:=1 TO NBODY DO
  A^Q[I,4]=SQRT(1-SQR(A^Q[I,5])-SQR(A^Q[I,6])-SQR(A^Q[I,7]));}
  }
  {velocity analysis}
  IFNCT:=2;
  FOR M:=1 TO 7*NBODY DO A^F[M]:=0;
  FUNCT(A,IA,A^Q,A^QD,A^FQ,A^F,JACOB,III);
  MI:=6*NBODY;

```





Appendix A

```

IF (ABS(A^F7*(KK-1)+K)>FEPS) THEN ICONVR=1;
  {IF (SINAL=1)AND (II=1)
  THEN A^Q[KK,K]=A^Q[KK,K]+A^F7*(KK-1)+K}
  ELSE} A^Q[KK,K]=A^Q[KK,K]-A^F7*(KK-1)+K};
  {IF (SINAL=1)AND (II=1)
  THEN A^Q[KK,K]=A^Q[KK,K];}
  END;

```

```

IF(ICONVR<=0) THEN GOTO 2;
END;

```

```

1:WRITELN(output,"");
WRITELN(output,"");
WRITELN(output,"-----CONVERGENCE FAILED-----");
2:END;

```

```

{-----4-----}
PROCEDURE FUNCT;

```

```

LABEL 20;
BEGIN
IR:=0;
IF(JACOB=0) THEN GOTO 20;
FOR I:=1 TO 70 DO
  BEGIN

```

```

    FOR J:=1 TO 70 DO FQ[I,J]=0;
  END;
  20:NGROND:=6*NGROUN;

```

```

  { for i:=1 to 4 do
  begin
  writeLn(output,"");
  for j:=1 to 7 do
  write(output,' a^q[',i,',',j,',',a^q[i,j]:7:2);
  writeLn(output,"");
  end;
  }

```

```

}
IF(NSPHER>0) THEN DO_SPHER(A^SPHER,IA^ISPHER,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,
  A^F,NSPHER,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ,III);
IF(NUNIVE>0) THEN DO_UNIVE(A^UNIVE,IA^IUNIVE,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,
  A^F,NUNIVE,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ,III);
IF(NREVOL>0) THEN
DO_REVOL(A^REVOL,IA^IREVOL,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,
  A^F,NREVOL,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ,III);
IF(NCYLIN>0) THEN DO_CYLIN(A^CYLIN,IA^ICYLIN,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,

```

Unit YOUNG\_2

```

  A^F,NCYLIN,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ,III);
IF(NTRANS>0) THEN
DO_TRANSI(A^TRANS,IA^ITRANS,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,
  A^F,NTRANS,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ,III);
IF(NSCREW>0) THEN
DO_SCREW1(A^SCREW,IA^ISCREW,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,
  A^F,NSCREW,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ,III);
IF(NSIMPL>0) THEN DO_SIMPL(A^SIMPL,IA^ISIMPL,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,
  A^F,NSIMPL,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ);
IF(NSIMP2>0) THEN DO_SIMP2(A^SIMP2,IA^ISIMP2,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,
  A^F,NSIMP2,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ);
IF(NDRIVE>0) THEN DO_DRIVE(A^DRIVE,IA^IDRIVE,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,
  A^F,NDRIVE,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ,T);
IF(NGROUN>0) THEN
DO_SIMPL(A^GROUN,IA^IGROUN,A^BODY,A^Q,A^QD,A^FQ,
  A^F,NGROND,NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICJ,ICJ);

```

{here is for the 7 equation of every body}

```

IF (IA^IDRIVE[1,2]<3){or (IA^IDRIVE[1,2]=3)} THEN

```

```

  BEGIN
  FOR I:=1 TO NBODY DO
  BEGIN
  IF (IFNCT=1) THEN
  F[IR+1,j]=SQR(A^Q[I,4])+SQR(A^Q[I,5])+SQR(A^Q[I,6])+SQR(A^Q[I,7])-1;
  IF (IFNCT=2) THEN F[IR+1,j]=0;
  IF (IFNCT=3) THEN F[IR+1,j]=-2*(A^QD[I,4]*A^QD[I,4]+
  A^QD[I,5]*A^QD[I,5]+A^QD[I,6]*A^QD[I,6]+A^QD[I,7]*A^QD[I,7]);
  IF (JACOB<=0) OR (JACOB=0) THEN
  BEGIN
  FQ[IR+1,4+(1-1)*7]=2*A^Q[I,4];
  FQ[IR+1,5+(1-1)*7]=2*A^Q[I,5];
  FQ[IR+1,6+(1-1)*7]=2*A^Q[I,6];
  FQ[IR+1,7+(1-1)*7]=2*A^Q[I,7];
  END;
  IR:=IR+1;

```

```

  END;
  END;
  IF (IA^IDRIVE[1,2]>3) THEN
  BEGIN
  { IF (NBODY<=IA^IDRIVE[1,1]) THEN}
  FOR I:=1 TO NBODY DO
  BEGIN

```

```

IF (I=IA^IDRIVE[I,1]) THEN I:=I+1;
BEGIN
IF (FNCT=1) THEN
F[IR+1]:=SQR(A^Q[I,4])+SQR(A^Q[I,5])+SQR(A^Q[I,6])+SQR(A^Q[I,7])-1;
IF (FNCT=2) THEN F[IR+1]:=0;
IF (FNCT=3) THEN F[IR+1]:=-2*(A^QD[I,4]*A^QD[I,4]+
A^QD[I,5]*A^QD[I,5]+A^QD[I,6]*A^QD[I,6]+A^QD[I,7]*A^QD[I,7]);
IF (JACOB<0) OR (JACOB=0) THEN
BEGIN
FQ[IR+1,4+(I-1)*7]:=2*A^Q[I,4];
FQ[IR+1,5+(I-1)*7]:=2*A^Q[I,5];
FQ[IR+1,6+(I-1)*7]:=2*A^Q[I,6];
FQ[IR+1,7+(I-1)*7]:=2*A^Q[I,7];
END;
IR:=IR+1;
END;
END;
END;
END;
{for print F}
{ for i:=1 to 9 do
begin
for j:= 1 to 4 do
write(output, 'F[(i-1)*4+j-2,]',a^f[(i-1)*4+j]:7.2);
writeIn(output,');
end;
}
}
END;
{-----5-----}
PROCEDURE LINEAR;
LABEL 1;
VAR
NP1,IP1,I,J,M1,ICOL,K:INTEGER;
SUM:REAL;
BEGIN
IF (LU>0) THEN
BEGIN
N:=7*NBODY;
LU(A^FQ,IA^ICOL,N,EPSLU);
END;
FOR J=1 TO N
DO W[J]:=C[J];
FOR J:=2 TO N DO

```

```

BEGIN
SUM:=W[J];
M1:=J-1;
FOR K:=1 TO M1 DO SUM:=SUM-LA[J,K]*W[K];
W[J]:=SUM;
END;
IF (LA[N,N]<0) THEN W[N]:=W[N]/LA[N,N]; {I changed}
NP1:=N+1;
FOR J:=2 TO N DO
BEGIN
I:=NP1-J;
SUM:=W[I];
IP1:=I+1;
FOR K:=IP1 TO N DO SUM:=SUM-LA[I,K]*W[K];
IF (LA[I,I]<0) THEN W[I]:=SUM/LA[I,I]; {I changed}
END;
FOR J:=1 TO N DO
BEGIN
ICOLJ:=ICOL[J];
C[ICOLJ]:=W[J];
END;
I:END;
{-----6-----}
PROCEDURE LU;
VAR
K,NM1,I,IP1,IP1,J: INTEGER;
PIV,TEMP:REAL;
LABEL 1,2,3,4,5;
BEGIN
FOR K:=1 TO N DO ICOL[K]:=K;
NM1:=N-1;
FOR I:=1 TO NM1 DO
BEGIN
PIV:=ABS(LA[I,I]);
IP1:=I+1;
FOR K:=IP1 TO N DO
TEMP:=ABS(LA[I,K]);

```



```

END;
WRITELN(output, '');
WRITELN(output, '-----');
WRITELN(output, 'TIME= ', T:5.3);
WRITELN(output, '-----');
WRITELN(output, 'POSITION');
{WRITELN(output, 'BODY X Y Z ALPHA BETA DELTA ');}
WRITELN(output, 'BODY X Y Z e0 e1 e2 e3');
FOR I=1 TO NBODY DO
  BEGIN
    WRITE(output, I:3);
    FOR J=1 TO 7 DO WRITE(output, Q[I, J]:10:3);
    WRITELN(output, '');
  END;
WRITELN(output, '');
WRITELN(output, '');
WRITELN(output, 'VELOCITY');
{WRITELN(output, 'BODY dX dY dZ dALPHA dBETA dDELTA');}
WRITELN(output, 'BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z');
FOR I=1 TO NBODY DO
  BEGIN
    WRITE(output, I:3);
    FOR J=1 TO 7 DO WRITE(output, QD[I, J]:7:3);
    WRITE(output, w_x[I]:7:2, w_y[I]:7:2, w_z[I]:7:2);
    WRITELN(output, '');
  END;
WRITELN(output, '');
WRITELN(output, 'ACCELERATION');
{WRITELN(output, 'BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 ddw-x ddw-y ddw-z');}
WRITELN(output, 'BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 ddw-x ddw-y ddw-z');
FOR I=1 TO NBODY DO
  BEGIN
    WRITE(output, I:3);
    FOR J=1 TO 7 DO WRITE(output, QDD[I, J]:7:3);
    WRITE(output, dw_x[I]:7:2, dw_y[I]:7:2, dw_z[I]:7:2);
    WRITELN(output, '');
  END;
WRITELN(output, '');

```

```

IF (NPOINT=0) THEN GOTO fim;
WRITELN(output, '');
WRITELN(output, 'POINTS OF INTEREST');
WRITELN(output, No X Y Z dX dY dZ dX dY ddX ddY ddZ);

FOR K=1 TO NPOINT DO

  BEGIN
    I:=IPOINT[K];
    {here is calculation of transformation matrix A}
    AA[1,1]:=2*(Q[I,4]*Q[I,4]+Q[I,5]*Q[I,5]-0.5);
    AA[1,2]:=2*(Q[I,5]*Q[I,6]-Q[I,4]*Q[I,7]);
    AA[1,3]:=2*(Q[I,5]*Q[I,7]+Q[I,4]*Q[I,6]);
    AA[2,1]:=2*(Q[I,5]*Q[I,6]+Q[I,4]*Q[I,7]);
    AA[2,2]:=2*(Q[I,4]*Q[I,4]+Q[I,6]*Q[I,6]-0.5);
    AA[2,3]:=2*(Q[I,6]*Q[I,7]-Q[I,4]*Q[I,5]);
    AA[3,1]:=2*(Q[I,5]*Q[I,7]-Q[I,4]*Q[I,6]);
    AA[3,2]:=2*(Q[I,6]*Q[I,7]+Q[I,4]*Q[I,5]);
    AA[3,3]:=2*(Q[I,4]*Q[I,4]+Q[I,7]*Q[I,7]-0.5);

    XPMX:=POINT[K,1]*AA[1,1]+POINT[K,2]*AA[1,2]+POINT[K,3]*AA[1,3];
    YPMY:=POINT[K,1]*AA[2,1]+POINT[K,2]*AA[2,2]+POINT[K,3]*AA[2,3];
    ZPMZ:=POINT[K,1]*AA[3,1]+POINT[K,2]*AA[3,2]+POINT[K,3]*AA[3,3];
    XP:=Q[I,1]+XPMX;
    YP:=Q[I,2]+YPMY;
    ZP:=Q[I,3]+ZPMZ;
    {the above is for P point's position}

    OMEG[1,1]:=2*(-Q[I,5]*QD[I,4]+Q[I,4]*QD[I,5]-Q[I,7]*QD[I,6]+Q[I,6]*QD[I,7]);
    OMEG[2,1]:=2*(-Q[I,6]*QD[I,4]+Q[I,7]*QD[I,5]+Q[I,4]*QD[I,6]-Q[I,5]*QD[I,7]);
    OMEG[3,1]:=2*(-Q[I,7]*QD[I,4]-Q[I,6]*QD[I,5]+Q[I,5]*QD[I,6]+Q[I,4]*QD[I,7]);

    OMEG[1,2]:=0; OMEG[2,2]:=0; OMEG[3,3]:=0;
    OMEG[1,2]:=-OMEG[3]; OMEG[2,1]:=+OMEG[3];
    OMEG[1,3]:=+OMEG[2]; OMEG[3,1]:=+OMEG[2];
    OMEG[2,3]:=+OMEG[1]; OMEG[3,2]:=+OMEG[1];

    XDP:=QD[I,1]+OMEG[1,1]*XPMX+OMEG[1,2]*YPMY+OMEG[1,3]*ZPMZ;
    YDP:=QD[I,2]+OMEG[2,1]*XPMX+OMEG[2,2]*YPMY+OMEG[2,3]*ZPMZ;
    ZDP:=QD[I,3]+OMEG[3,1]*XPMX+OMEG[3,2]*YPMY+OMEG[3,3]*ZPMZ;
    {the above is for P point's velocity}

    OMEGD[1,1]:=2*(-Q[I,5]*QDD[I,4]+Q[I,4]*QDD[I,5]-Q[I,7]*QDD[I,6]+Q[I,6]*QDD[I,7]);

```



```

UNIT YOUNG_3;
{this unit includes calculations of 4 types of joints}

INTERFACE
USES YOUNG_1;

VAR
  LLLJ,G,GI,GJ,GDI,GD,LD,GDD,LDD,I,LDI,LDJ,FQIL,FQJJ,GSLI,GSLJ,
  FQJ,FQJ,GSLQ,GHLJ,GHLJ,M3X4;
  SI,SJ,SP1,SPJ,SQJ,SDQJ,D,DD,HL,HJ,HDJ,ASL,ASJ,SQJG,SQJG,
  OMEG,DQJ,DQJ,DPJ,DPJ,HQJ,HQJ,SPJG,SPJG,GPDJ,GPDJ,ASPL,ASPL,SHJ,SHJ,
  SHJG,SHJG,DHJ,DHJ,GHDI,GHDI,M3X1;
  ALAJ,ADLADJ,STI,STJ,GLI,DLJ,SDTI,SQTI,SDTI,HTI,HTI,GDDL,

  GDDL,SPTI,SPTJ,SQJTG,SQJTG,OMEGT,DQJL,STS,STD,SHTI,SHTI,SHITG,SHITG,M3X3;
  SLL,SLJ,SQJL,SQJL,SPLI,SPLJ,HLI,HLJ,SHLI,SHLJ,M4X4;
  PI,PJ,P,HGLI,HGLJ,M4X1;
  FI,FI,M6X1;
  FIQ,FJQ,M7X10;
  NUM,N3X1; NUM1,NUM2,N10X1;
  MN,ICI,ICJ,NUM3,NUM4:INTEGER;

  (*1*)PROCEDURE DO_SPHER(VAR SPHER:M3X6; VAR ISPHER:N3X2; VAR
  BODY:M10X7; VAR Q,
    QD:M10X7; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NSPHER,NBODY,
    JACOB,IFNCT,IR,ICI,ICJ:INTEGER);
  BODY:M10X7; VAR Q,
    QD:M10X7; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NUNIVE,NBODY,
    JACOB,IFNCT,IR,ICI,ICJ:INTEGER);
  (*3*)PROCEDURE DO_REVOL(VAR REVOL:M4X12; VAR IREVOL:N3X2; VAR
  BODY:M10X7; VAR Q,
    QD:M10X7; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NREVOL,NBODY,
    JACOB,IFNCT,IR,ICI,ICJ:INTEGER; III:INTEGER);
  (*4*)PROCEDURE DO_CYLIN(VAR CYLIN:M4X12; VAR ICYLIN:N3X2; VAR
  BODY:M10X7; VAR Q,
    QD:M10X7; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NCYLIN,NBODY,
    JACOB,IFNCT,IR,ICI,ICJ:INTEGER; III:INTEGER);

IMPLEMENTATION
{-----}
PROCEDURE DO_SPHER;

```

```

BEGIN
FOR K:=1 TO NSPHER DO
BEGIN
  I:=ISPHER[K,1];
  J:=ISPHER[K,2];
  {preparing data}
  GI[1,1]:=Q[I,5]; GI[1,2]:=+Q[I,4]; GI[1,3]:=Q[I,7]; GI[1,4]:=+Q[I,6];
  GI[2,1]:=Q[I,6]; GI[2,2]:=+Q[I,7]; GI[2,3]:=+Q[I,4]; GI[2,4]:=Q[I,5];
  GI[3,1]:=Q[I,7]; GI[3,2]:=Q[I,6]; GI[3,3]:=+Q[I,5]; GI[3,4]:=+Q[I,4];

  LI[1,1]:=Q[I,5]; LI[1,2]:=+Q[I,4]; LI[1,3]:=+Q[I,7]; LI[1,4]:=Q[I,6];
  LI[2,1]:=Q[I,6]; LI[2,2]:=Q[I,7]; LI[2,3]:=+Q[I,4]; LI[2,4]:=+Q[I,5];
  LI[3,1]:=Q[I,7]; LI[3,2]:=+Q[I,6]; LI[3,3]:=Q[I,5]; LI[3,4]:=+Q[I,4];

  GJ[1,1]:=Q[J,5]; GJ[1,2]:=+Q[J,4]; GJ[1,3]:=Q[J,7]; GJ[1,4]:=+Q[J,6];
  GJ[2,1]:=Q[J,6]; GJ[2,2]:=+Q[J,7]; GJ[2,3]:=+Q[J,4]; GJ[2,4]:=Q[J,5];
  GJ[3,1]:=Q[J,7]; GJ[3,2]:=Q[J,6]; GJ[3,3]:=+Q[J,5]; GJ[3,4]:=+Q[J,4];

  LJ[1,1]:=Q[J,5]; LJ[1,2]:=+Q[J,4]; LJ[1,3]:=+Q[J,7]; LJ[1,4]:=Q[J,6];
  LJ[2,1]:=Q[J,6]; LJ[2,2]:=Q[J,7]; LJ[2,3]:=+Q[J,4]; LJ[2,4]:=+Q[J,5];
  LJ[3,1]:=Q[J,7]; LJ[3,2]:=+Q[J,6]; LJ[3,3]:=Q[J,5]; LJ[3,4]:=+Q[J,4];

  GDI[1,1]:=QDI[1,2]; GDI[1,2]:=QDI[1,3]; GDI[1,3]:=QDI[1,4]; GDI[1,4]:=QDI[1,6];
  GDI[2,1]:=QDI[1,6]; GDI[2,2]:=QDI[1,7]; GDI[2,3]:=QDI[1,4]; GDI[2,4]:=QDI[1,5];
  GDI[3,1]:=QDI[1,7]; GDI[3,2]:=QDI[1,6]; GDI[3,3]:=QDI[1,5]; GDI[3,4]:=QDI[1,4];

  GDJ[1,1]:=QDJ[1,2]; GDJ[1,2]:=QDJ[1,3]; GDJ[1,3]:=QDJ[1,4]; GDJ[1,4]:=QDJ[1,6];
  GDJ[2,1]:=QDJ[1,6]; GDJ[2,2]:=QDJ[1,7]; GDJ[2,3]:=QDJ[1,4]; GDJ[2,4]:=QDJ[1,5];
  GDJ[3,1]:=QDJ[1,7]; GDJ[3,2]:=QDJ[1,6]; GDJ[3,3]:=QDJ[1,5]; GDJ[3,4]:=QDJ[1,4];

  LDI[1,1]:=QDI[1,5]; LDI[1,2]:=QDI[1,4]; LDI[1,3]:=QDI[1,7]; LDI[1,4]:=QDI[1,6];
  LDI[2,1]:=QDI[1,6]; LDI[2,2]:=QDI[1,7]; LDI[2,3]:=QDI[1,4]; LDI[2,4]:=QDI[1,5];
  LDI[3,1]:=QDI[1,7]; LDI[3,2]:=QDI[1,6]; LDI[3,3]:=QDI[1,5]; LDI[3,4]:=QDI[1,4];

  LDJ[1,1]:=QDJ[1,5]; LDJ[1,2]:=QDJ[1,4]; LDJ[1,3]:=QDJ[1,7]; LDJ[1,4]:=QDJ[1,6];
  LDJ[2,1]:=QDJ[1,6]; LDJ[2,2]:=QDJ[1,7]; LDJ[2,3]:=QDJ[1,4]; LDJ[2,4]:=QDJ[1,5];
  LDJ[3,1]:=QDJ[1,7]; LDJ[3,2]:=QDJ[1,6]; LDJ[3,3]:=QDJ[1,5]; LDJ[3,4]:=QDJ[1,4];

  FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    AJ[M,N]:=0;
    AJ[M,N]:=0;

```

```

ADJ[M,N]=0;
ADJ[M,N]=0;
END;

FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    FOR MN:=1 TO 4 DO
      BEGIN
        AJ[M,N]:=A[M,N]+G[M,MN]*L[N,MN];
        AJ[M,N]:=A[M,N]+G[M,MN]*L[N,MN];
        ADJ[M,N]:=ADJ[M,N]+GDI[M,MN]*LDI[N,MN];
        ADJ[M,N]:=ADJ[M,N]+GDI[M,MN]*LDI[N,MN];
      END;
    END;
  END;
END;

FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    S[M]:=SPHER[K,M];
    S[M]:=SPHER[K,M+3];
  END;
END;

STJ[1,1]:=0;STJ[2,2]:=0;STJ[3,3]:=0;
STJ[1,2]:=-S[J3];STJ[1,3]:=+S[J2];STJ[2,1]:=+S[J3];
STJ[2,3]:=-S[J1];STJ[3,1]:=-S[J2];STJ[3,2]:=+S[J1];
STJ[1,1]:=0;STJ[2,2]:=0;STJ[3,3]:=0;
STJ[1,2]:=-S[J3];STJ[1,3]:=+S[J2];STJ[2,1]:=+S[J3];
STJ[2,3]:=-S[J1];STJ[3,1]:=-S[J2];STJ[3,2]:=+S[J1];

FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SLJ[M,M]:=0;SLJ[M+1,M+1]:=0;
    SLJ[1,M+1]:=-S[M];SLJ[M+1,1]:=S[M];
    SLJ[2,M+1]:=-STJ[1,M];
    SLJ[3,M+1]:=-STJ[2,M];
    SLJ[4,M+1]:=-STJ[3,M];
    SLJ[M,M]:=0;SLJ[M+1,M+1]:=0;
    SLJ[1,M+1]:=-S[M];SLJ[M+1,1]:=S[M];
    SLJ[2,M+1]:=-STJ[1,M];
    SLJ[3,M+1]:=-STJ[2,M];
    SLJ[4,M+1]:=-STJ[3,M];
  END;
END;

IF (IFNCT=1) THEN {constraint equations}
  BEGIN
    FOR M:=1 TO 3 DO
      BEGIN
        ADJ[M,N]=0;
        ASJ[M]=0; ASJ[M]=0;
        END;
      FOR M:=1 TO 3 DO
        FOR N:=1 TO 3 DO
          BEGIN
            ASJ[M]:=ASJ[M]+AJ[M,N]*SJ[N];
            ASJ[M]:=ASJ[M]+AJ[M,N]*SJ[N];
            END;
          FOR M:=1 TO 3 DO
            BEGIN
              F[IR+M]:=Q[I,M]+ASJ[M]-ASJ[M]-Q[J,M];
              END;
            END;
          END;
        IF (IFNCT=2) THEN {right-hand-side of velocity equations}
          BEGIN
            F[IR+1]:=0;
            F[IR+2]:=0;
            F[IR+3]:=0;
            END;
          END;
        IF (IFNCT=3) THEN {right-hand-side of acceleration equations}
          BEGIN
            FOR M:=1 TO 3 DO
              BEGIN
                ASJ[M]=0; ASJ[M]=0;
                END;
              FOR M:=1 TO 3 DO
                FOR N:=1 TO 3 DO
                  BEGIN
                    ASJ[M]:=ASJ[M]+ADJ[M,N]*SJ[N];
                    ASJ[M]:=ASJ[M]+ADJ[M,N]*SJ[N];
                    END;
                  FOR M:=1 TO 3 DO
                    BEGIN
                      F[IR+M]:=(-2)*ASJ[M]+2*ASJ[M];
                      END;
                    END;
                  END;
                IF (JACOB>0) THEN {jacobian matrix nonzero entries}
                  BEGIN
                    ICI:=7*(I-1); ICI:=7*(J-1);

```

Appendix A

Unit YOUNG\_3

```

FOR MN:=1 TO 3 DO
  BEGIN
  FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[MN,N]=0;
  FOR N:=1 TO 4 DO
    BEGIN
    FQJ[IR+MN,ICJ+MN]=1;
    FOR M:=1 TO 4 DO FQJ[MN,N]=2*GJ[MN,M]*SLJ[M,N]+FQJ[MN,N];
    END;
  FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[IR+MN,ICJ+N+3]=FQJ[MN,N];
  {attention! 3x4=3x4*4x4}
  END;

FOR MN:=1 TO 3 DO
  BEGIN
  FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[MN,N]=0;
  FOR N:=1 TO 4 DO
    BEGIN
    FQJ[IR+MN,ICJ+MN]=1;
    FOR M:=1 TO 4 DO FQJ[MN,N]=2*GJ[MN,M]*SLJ[M,N]+FQJ[MN,N];
    END;
  FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[IR+MN,ICJ+N+3]=FQJ[MN,N];
  IR:=IR+3;
  END;

IF (JACOB<=0) THEN
  IR:=IR+3;
END;
END;
{-----2-----}
PROCEDURE DO_UNIVE;
BEGIN
FOR K:=1 TO NUNIVE DO
  BEGIN
  I:=IUNIVE[K,1];
  J:=IUNIVE[K,2];
  {preparing data}
  GJ[1,1]=QJ[1,5]; GJ[1,2]=+QJ[4]; GJ[1,3]=QJ[7]; GJ[1,4]=+QJ[6];
  GJ[2,1]=QJ[6]; GJ[2,2]=+QJ[7]; GJ[2,3]=+QJ[4]; GJ[2,4]=QJ[5];
  GJ[3,1]=QJ[7]; GJ[3,2]=QJ[6]; GJ[3,3]=+QJ[5]; GJ[3,4]=+QJ[4];
  LJ[1,1]=QJ[5]; LJ[1,2]=+QJ[4]; LJ[1,3]=+QJ[7]; LJ[1,4]=QJ[6];
  LJ[2,1]=QJ[6]; LJ[2,2]=+QJ[7]; LJ[2,3]=+QJ[4]; LJ[2,4]=+QJ[5];
  LJ[3,1]=QJ[7]; LJ[3,2]=+QJ[6]; LJ[3,3]=QJ[5]; LJ[3,4]=+QJ[4];
  GDJ[1,1]=QD[1,5]; GDJ[1,2]=QD[4]; GDJ[1,3]=QD[7]; GDJ[1,4]=QD[6];
  GDJ[2,1]=QD[6]; GDJ[2,2]=QD[7]; GDJ[2,3]=QD[4]; GDJ[2,4]=QD[5];
  GDJ[3,1]=QD[7]; GDJ[3,2]=QD[6]; GDJ[3,3]=QD[5]; GDJ[3,4]=QD[4];
  LDJ[1,1]=QD[1,5]; LDJ[1,2]=QD[4]; LDJ[1,3]=QD[7]; LDJ[1,4]=QD[6];
  LDJ[2,1]=QD[6]; LDJ[2,2]=QD[7]; LDJ[2,3]=QD[4]; LDJ[2,4]=QD[5];
  LDJ[3,1]=QD[7]; LDJ[3,2]=QD[6]; LDJ[3,3]=QD[5]; LDJ[3,4]=QD[4];
  LDJ[1,1]=QD[1,5]; LDJ[1,2]=QD[4]; LDJ[1,3]=QD[7]; LDJ[1,4]=QD[6];
  LDJ[2,1]=QD[6]; LDJ[2,2]=QD[7]; LDJ[2,3]=QD[4]; LDJ[2,4]=QD[5];
  LDJ[3,1]=QD[7]; LDJ[3,2]=QD[6]; LDJ[3,3]=QD[5]; LDJ[3,4]=QD[4];
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR N:=1 TO 3 DO
      BEGIN
      AJ[M,N]=0;
      AJ[M,N]=0;
      ADJ[M,N]=0;
      ADJ[M,N]=0;
      END;
    FOR M:=1 TO 3 DO
      FOR N:=1 TO 3 DO
        BEGIN
        AJ[M,N]=AJ[M,N]+GJ[M,MN]*LJ[N,MN];
        AJ[M,N]=AJ[M,N]+GJ[M,MN]*LJ[N,MN];
        ADJ[M,N]=ADJ[M,N]+GDJ[M,MN]*LDJ[N,MN];
        ADJ[M,N]=ADJ[M,N]+GDJ[M,MN]*LDJ[N,MN];
        END;
      END;
    END;
  END;

```



```

END;
FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SI[M]:=UNIVE[K,M];
    SJ[M]:=UNIVE[K,M+3];
    SQ[M]:=UNIVE[K,M+6]-UNIVE[K,M];
    SQT[M]:=UNIVE[K,M+9]-UNIVE[K,M+3];
  END;
  {transfer to global coord}
  FOR M:=1 TO 3 DO
    BEGIN
      SQIG[M]:=0;
      SQJG[M]:=0;
    END;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR N:=1 TO 3 DO
      BEGIN
        SQIG[M]:=AI[M,N]*SQ[N]+SQIG[M];
        SQJG[M]:=AJ[M,N]*SQ[N]+SQJG[M];
      END;
      STI[1,1]:=0;STI[2,2]:=0;STI[3,3]:=0;
      STI[1,2]:=-SI[3];STI[1,3]:=-SI[2];STI[2,1]:=-SI[3];
      STI[2,3]:=-SI[1];STI[3,1]:=-SI[2];STI[3,2]:=-SI[1];
      STJ[1,1]:=0;STJ[2,2]:=0;STJ[3,3]:=0;
      STJ[1,2]:=-SJ[3];STJ[1,3]:=-SJ[2];STJ[2,1]:=-SJ[3];
      STJ[2,3]:=-SJ[1];STJ[3,1]:=-SJ[2];STJ[3,2]:=-SJ[1];
      SQT[1,1]:=0;SQT[2,2]:=0;SQT[3,3]:=0;
      SQT[1,2]:=-SQ[3];SQT[1,3]:=-SQ[2];SQT[2,1]:=-SQ[3];
      SQT[2,3]:=-SQ[1];SQT[3,1]:=-SQ[2];SQT[3,2]:=-SQ[1];
      SQTJ[1,1]:=0;SQTJ[2,2]:=0;SQTJ[3,3]:=0;
      SQTJ[1,2]:=-SQJ[3];SQTJ[1,3]:=-SQJ[2];SQTJ[2,1]:=-SQJ[3];
      SQTJ[2,3]:=-SQJ[1];SQTJ[3,1]:=-SQJ[2];SQTJ[3,2]:=-SQJ[1];
    END;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    BEGIN
      SLJ[M,M]:=0;SLJ[M+1,M+1]:=0;
      SLJ[1,M+1]:=-SI[M];SLJ[M+1,1]:=-SI[M];
      SLJ[2,M+1]:=-STJ[1,M];
      SLJ[3,M+1]:=-STJ[2,M];
      SLJ[4,M+1]:=-STJ[3,M];
      SQT[M,M]:=0;SQT[M+1,M+1]:=0;
      SQT[1,M+1]:=-SQ[M];SQT[M+1,1]:=-SQ[M];
      SQT[2,M+1]:=-SQT[1,M];
      SQT[3,M+1]:=-SQT[2,M];
      SQT[4,M+1]:=-SQT[3,M];
      SQTJ[M,M]:=0;SQTJ[M+1,M+1]:=0;
      SQTJ[1,M+1]:=-SQJ[M];SQTJ[M+1,1]:=-SQJ[M];
      SQTJ[2,M+1]:=-SQTJ[1,M];
      SQTJ[3,M+1]:=-SQTJ[2,M];
      SQTJ[4,M+1]:=-SQTJ[3,M];
    END;
  END;
  IF (IFNCT=1) THEN {constraint equations}
    BEGIN
      FOR M:=1 TO 3 DO
        BEGIN
          ASI[M]:=0; ASJ[M]:=0;
        END;
        FOR M:=1 TO 3 DO
          FOR N:=1 TO 3 DO
            BEGIN
              ASI[M]:=ASI[M]+AI[M,N]*SI[N];
              ASJ[M]:=ASJ[M]+AJ[M,N]*SJ[N];
            END;
          END;
        END;
        FOR M:=1 TO 3 DO
          BEGIN
            FIR+M:=Q[I,M]+ASI[M]-ASJ[M]-Q[J,M];
          END;
          FIR+4:=SQG[1]*SQG[1]+SQG[2]*SQG[2]+SQG[3]*SQG[3];
        END;
      END;
  IF (IFNCT=2) THEN {right-hand-side of velocity equation}
    BEGIN
      FIR+1:=0;
      FIR+2:=0;
      FIR+3:=0;
      FIR+4:=0;
    END;

```



Appendix A

Unit YOUNG\_3

```

FOR N:=1 TO 4 DO
  BEGIN
    FQ[IR+MN,IC]+MN]=1;
    FOR M:=1 TO 4 DO FQ[MN,N]=2*GJ[MN,M]*SLJ[M,M,N]+FQJ[MN,N];
    END;
  FOR N:=1 TO 4 DO FQ[IR+MN,IC]+N+3]=FQJ[MN,N];
  END;
  {the 4 equation}
  FOR M:=1 TO 3 DO HQJ[M]=0;
  FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR MN:=1 TO 4 DO
      FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SQLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
    FOR M:=1 TO 4 DO
      FOR N:=1 TO 3 DO HQJ[M]=2*SQJ[G[N]*GSLJ[N,M]+HQJ[M];
      {here is very easy to mistake}
    FOR M:=1 TO 4 DO FQ[IR+4,IC]+3+M]=HQJ[M];
  END;
  FOR M:=1 TO 3 DO HQJ[M]=0;
  FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR MN:=1 TO 4 DO
      FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SQLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
    FOR M:=1 TO 4 DO
      FOR N:=1 TO 3 DO HQJ[M]=2*SQJ[G[N]*GSLJ[N,M]+HQJ[M];
    FOR M:=1 TO 4 DO FQ[IR+4,IC]+3+M]=HQJ[M];
  END;
  IR:=IR+4;
  END;
  IF (JACOB<=0) THEN
    IR:=IR+4;
  END;
  END;
  {-----3-----}
  PROCEDURE DO_REVOL;
  BEGIN
    FOR K:=1 TO NREVOL DO
      BEGIN
        END;
      END;
    END;
  END;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR N:=1 TO 3 DO
      BEGIN
        A[J[M,N]]=-0;
        A[J[M,N]]=-0;
        ADJ[M,N]]=-0;
        ADJ[M,N]]=-0;
      END;
    END;
  END;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR N:=1 TO 3 DO
      BEGIN
        I:=IREVOL[K,1];
        J:=IREVOL[K,2];
        {preparing data}
        GJ[1,1]=QI[5]; GJ[1,2]=+QI[4]; GJ[1,3]=QI[7]; GJ[1,4]=+QI[6];
        GJ[2,1]=QI[6]; GJ[2,2]=+QI[7]; GJ[2,3]=+QI[4]; GJ[2,4]=QI[5];
        GJ[3,1]=QI[7]; GJ[3,2]=QI[6]; GJ[3,3]=+QI[5]; GJ[3,4]=+QI[4];
        LJ[1,1]=QI[5]; LJ[1,2]=+QI[4]; LJ[1,3]=+QI[7]; LJ[1,4]=QI[6];
        LJ[2,1]=QI[6]; LJ[2,2]=QI[7]; LJ[2,3]=+QI[4]; LJ[2,4]=+QI[5];
        LJ[3,1]=QI[7]; LJ[3,2]=+QI[6]; LJ[3,3]=QI[5]; LJ[3,4]=+QI[4];
        GJ[1,1]=QJ[5]; GJ[1,2]=+QJ[4]; GJ[1,3]=QJ[7]; GJ[1,4]=+QJ[6];
        GJ[2,1]=QJ[6]; GJ[2,2]=+QJ[7]; GJ[2,3]=+QJ[4]; GJ[2,4]=QJ[5];
        GJ[3,1]=QJ[7]; GJ[3,2]=QJ[6]; GJ[3,3]=+QJ[5]; GJ[3,4]=+QJ[4];
        LJ[1,1]=QJ[5]; LJ[1,2]=+QJ[4]; LJ[1,3]=QJ[7]; LJ[1,4]=QJ[6];
        LJ[2,1]=QJ[6]; LJ[2,2]=QJ[7]; LJ[2,3]=+QJ[4]; LJ[2,4]=+QJ[5];
        LJ[3,1]=QJ[7]; LJ[3,2]=+QJ[6]; LJ[3,3]=QJ[5]; LJ[3,4]=+QJ[4];
        GDI[1,1]=QDI[5]; GDI[1,2]=QDI[4]; GDI[1,3]=QDI[7]; GDI[1,4]=QDI[6];
        GDI[2,1]=QDI[6]; GDI[2,2]=QDI[7]; GDI[2,3]=QDI[4]; GDI[2,4]=QDI[5];
        GDI[3,1]=QDI[7]; GDI[3,2]=QDI[6]; GDI[3,3]=QDI[5]; GDI[3,4]=QDI[4];
        GDJ[1,1]=QDJ[5]; GDJ[1,2]=QDJ[4]; GDJ[1,3]=QDJ[7]; GDJ[1,4]=QDJ[6];
        GDJ[2,1]=QDJ[6]; GDJ[2,2]=QDJ[7]; GDJ[2,3]=QDJ[4]; GDJ[2,4]=QDJ[5];
        GDJ[3,1]=QDJ[7]; GDJ[3,2]=QDJ[6]; GDJ[3,3]=QDJ[5]; GDJ[3,4]=QDJ[4];
        LDI[1,1]=QDI[5]; LDI[1,2]=QDI[4]; LDI[1,3]=QDI[7]; LDI[1,4]=QDI[6];
        LDI[2,1]=QDI[6]; LDI[2,2]=QDI[7]; LDI[2,3]=QDI[4]; LDI[2,4]=QDI[5];
        LDI[3,1]=QDI[7]; LDI[3,2]=QDI[6]; LDI[3,3]=QDI[5]; LDI[3,4]=QDI[4];
        LDJ[1,1]=QDJ[5]; LDJ[1,2]=QDJ[4]; LDJ[1,3]=QDJ[7]; LDJ[1,4]=QDJ[6];
        LDJ[2,1]=QDJ[6]; LDJ[2,2]=QDJ[7]; LDJ[2,3]=QDJ[4]; LDJ[2,4]=QDJ[5];
        LDJ[3,1]=QDJ[7]; LDJ[3,2]=QDJ[6]; LDJ[3,3]=QDJ[5]; LDJ[3,4]=QDJ[4];
      END;
    END;
  END;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR N:=1 TO 3 DO
      BEGIN
        END;
      END;
    END;
  END;
  BEGIN
    FOR K:=1 TO NREVOL DO
      BEGIN
        END;
      END;
    END;
  END;
  END;

```

```

FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    FOR MN:=1 TO 4 DO
      BEGIN
        A1[M,N]=A1[M,N]+G1[M,MN]*L1[N,MN];
        A2[M,N]=A2[M,N]+G2[M,MN]*L2[N,MN];
        AD1[M,N]=AD1[M,N]+GD1[M,MN]*LD1[N,MN];
        AD2[M,N]=AD2[M,N]+GD2[M,MN]*LD2[N,MN];
      END;
    FOR M:=1 TO 3 DO
      BEGIN
        SPI[M]=REVOL[K,M];
        SPJ[M]=REVOL[K,M+3];
        SQI[M]=REVOL[K,M+6]+REVOL[K,M];
        SQJ[M]=REVOL[K,M+9]+REVOL[K,M+3];
      END;
    {transfer to global coord}
    FOR M:=1 TO 3 DO
      BEGIN
        SQIG[M]=0;
        SQJG[M]=0;
        SPIG[M]=0;
        SPJG[M]=0;
      END;
    FOR M:=1 TO 3 DO
      FOR N:=1 TO 3 DO
        BEGIN
          SQI[M,M]=0;SPTI[2,2]=0;SPTI[3,3]=0;
          SQI[1,M+1]=SQI[M];SQI[M+1,1]=SQI[M];
          SQI[2,M+1]=SQI[1,M];
          SQI[3,M+1]=SQI[2,M];
          SPTI[4,M+1]=SPTI[3,M];
          SPTI[M,M]=0;SPLJ[M+1,M+1]=0;
          SPLJ[1,M+1]=SPLJ[M];SPLJ[M+1,1]=SPLJ[M];
          SPLJ[2,M+1]=SPLJ[1,M];
          SPLJ[3,M+1]=SPLJ[2,M];
          SPLJ[4,M+1]=SPLJ[3,M];
          SQL[M,M]=0;SQL[M+1,M+1]=0;
          SQL[1,M+1]=SQL[M];SQL[M+1,1]=SQL[M];
          SQL[2,M+1]=SQL[1,M];
          SQL[3,M+1]=SQL[2,M];
          SQL[4,M+1]=SQL[3,M];
          SQLJ[M,M]=0;SQLJ[M+1,M+1]=0;
          SQLJ[1,M+1]=SQLJ[M];SQLJ[M+1,1]=SQLJ[M];
          SQLJ[2,M+1]=SQLJ[1,M];
          SQLJ[3,M+1]=SQLJ[2,M];
          SQLJ[4,M+1]=SQLJ[3,M];
          SPTI[1,1]=0;SPTI[2,2]=0;SPTI[3,3]=0;
          SPTI[1,2]=SPTI[1,3]+SPTI[2];SPTI[2,1]=SPTI[3];
          SPTI[2,3]=SPTI[1];SPTI[3,1]=SPTI[2];SPTI[3,2]=SPTI[1];
          SPTJ[1,1]=0;SPTJ[2,2]=0;SPTJ[3,3]=0;
          SPTJ[1,2]=SPTJ[1,3]+SPTJ[2];SPTJ[2,1]=SPTJ[3];
          SPTJ[2,3]=SPTJ[1];SPTJ[3,1]=SPTJ[2];SPTJ[3,2]=SPTJ[1];
          {local coord.}
          SPTI[1,1]=0;SPTI[2,2]=0;SPTI[3,3]=0;
          SPTI[1,2]=SQI[3];SPTI[1,3]=SQI[2];SPTI[2,1]=SQI[3];
          SPTI[2,3]=SQI[1];SPTI[3,1]=SQI[2];SPTI[3,2]=SQI[1];
          SPTJ[1,1]=0;SPTJ[2,2]=0;SPTJ[3,3]=0;
          SPTJ[1,2]=SQJ[3];SPTJ[1,3]=SQJ[2];SPTJ[2,1]=SQJ[3];
          SPTJ[2,3]=SQJ[1];SPTJ[3,1]=SQJ[2];SPTJ[3,2]=SQJ[1];
          {global coord.}
          SPTIG[1,1]=0;SPTIG[2,2]=0;SPTIG[3,3]=0;
          SPTIG[1,2]=SQIG[3];SPTIG[1,3]=SQIG[2];SPTIG[2,1]=SQIG[3];
          SPTIG[2,3]=SQIG[1];SPTIG[3,1]=SQIG[2];SPTIG[3,2]=SQIG[1];
          SPTJG[1,1]=0;SPTJG[2,2]=0;SPTJG[3,3]=0;
          SPTJG[1,2]=SPTJG[1,3]+SPTJG[2];SPTJG[2,1]=SPTJG[3];
          SPTJG[2,3]=SPTJG[1];SPTJG[3,1]=SPTJG[2];SPTJG[3,2]=SPTJG[1];
        END;
      FOR M:=1 TO 3 DO
        BEGIN
          SPLI[M,M]=0;SPLI[M+1,M+1]=0;
          SPLI[1,M+1]=SPLI[M];SPLI[M+1,1]=SPLI[M];
          SPLI[2,M+1]=SPLI[1,M];
          SPLI[3,M+1]=SPLI[2,M];
          SPLI[4,M+1]=SPLI[3,M];
          SPLJ[M,M]=0;SPLJ[M+1,M+1]=0;
          SPLJ[1,M+1]=SPLJ[M];SPLJ[M+1,1]=SPLJ[M];
          SPLJ[2,M+1]=SPLJ[1,M];
          SPLJ[3,M+1]=SPLJ[2,M];
          SPLJ[4,M+1]=SPLJ[3,M];
          SQLI[M,M]=0;SQLI[M+1,M+1]=0;
          SQLI[1,M+1]=SQLI[M];SQLI[M+1,1]=SQLI[M];
          SQLI[2,M+1]=SQLI[1,M];
          SQLI[3,M+1]=SQLI[2,M];
          SQLI[4,M+1]=SQLI[3,M];
          SQLJ[M,M]=0;SQLJ[M+1,M+1]=0;
          SQLJ[1,M+1]=SQLJ[M];SQLJ[M+1,1]=SQLJ[M];
          SQLJ[2,M+1]=SQLJ[1,M];
          SQLJ[3,M+1]=SQLJ[2,M];
          SQLJ[4,M+1]=SQLJ[3,M];
          END;
        {for revolute equations S-1*Sj}
        FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
          STS[M,N]=SPTIG[M,N]*SQJG[N];
        {the next is for select 2 out of 3 equations}

```





```

FQJ[R+5,ICJ+M+3]:=FQJ[INUM2[K],M];
FQJ[R+4,ICJ+M+3]:=FQJ[INUM1[K],M];
FQJ[R+5,ICJ+M+3]:=FQJ[INUM2[K],M];
END;
IR:=IR+5;
END;
IF(JACOB<=0) THEN IR:=IR+5;
END;
END;
{-----4-----}
PROCEDURE DO_CYLIN;
BEGIN
FOR K=1 TO NCYLIN DO
BEGIN
I:=ICYLIN[K,1];
J:=ICYLIN[K,2];
{prepare data}
GJ[1,1]:=QJ[5]; GJ[1,2]:=+QJ[4]; GJ[1,3]:=QJ[7]; GJ[1,4]:=+QJ[6];
GJ[2,1]:=QJ[6]; GJ[2,2]:=+QJ[7]; GJ[2,3]:=+QJ[4]; GJ[2,4]:=QJ[5];
GJ[3,1]:=QJ[7]; GJ[3,2]:=QJ[6]; GJ[3,3]:=+QJ[5]; GJ[3,4]:=+QJ[4];
LJ[1,1]:=QJ[5]; LJ[1,2]:=+QJ[4]; LJ[1,3]:=+QJ[7]; LJ[1,4]:=QJ[6];
LJ[2,1]:=QJ[6]; LJ[2,2]:=QJ[7]; LJ[2,3]:=+QJ[4]; LJ[2,4]:=+QJ[5];
LJ[3,1]:=QJ[7]; LJ[3,2]:=+QJ[6]; LJ[3,3]:=QJ[5]; LJ[3,4]:=+QJ[4];
GJ[1,1]:=QJ[5]; GJ[1,2]:=+QJ[4]; GJ[1,3]:=QJ[7]; GJ[1,4]:=+QJ[6];
GJ[2,1]:=QJ[6]; GJ[2,2]:=+QJ[7]; GJ[2,3]:=+QJ[4]; GJ[2,4]:=QJ[5];
GJ[3,1]:=QJ[7]; GJ[3,2]:=QJ[6]; GJ[3,3]:=+QJ[5]; GJ[3,4]:=+QJ[4];
LJ[1,1]:=QJ[5]; LJ[1,2]:=+QJ[4]; LJ[1,3]:=+QJ[7]; LJ[1,4]:=QJ[6];
LJ[2,1]:=QJ[6]; LJ[2,2]:=QJ[7]; LJ[2,3]:=+QJ[4]; LJ[2,4]:=+QJ[5];
LJ[3,1]:=QJ[7]; LJ[3,2]:=+QJ[6]; LJ[3,3]:=QJ[5]; LJ[3,4]:=+QJ[4];
GDI[1,1]:=QDI[5]; GDI[1,2]:=QDI[4]; GDI[1,3]:=QDI[7]; GDI[1,4]:=QDI[6];
GDI[2,1]:=QDI[6]; GDI[2,2]:=QDI[7]; GDI[2,3]:=QDI[4]; GDI[2,4]:=QDI[5];
GDI[3,1]:=QDI[7]; GDI[3,2]:=QDI[6]; GDI[3,3]:=QDI[5]; GDI[3,4]:=QDI[4];
GDI[1,1]:=QDI[5]; GDI[1,2]:=QDI[4]; GDI[1,3]:=QDI[7]; GDI[1,4]:=QDI[6];
GDI[2,1]:=QDI[6]; GDI[2,2]:=QDI[7]; GDI[2,3]:=QDI[4]; GDI[2,4]:=QDI[5];
GDI[3,1]:=QDI[7]; GDI[3,2]:=QDI[6]; GDI[3,3]:=QDI[5]; GDI[3,4]:=QDI[4];
LDI[1,1]:=QDI[5]; LDI[1,2]:=QDI[4]; LDI[1,3]:=QDI[7]; LDI[1,4]:=QDI[6];
LDI[2,1]:=QDI[6]; LDI[2,2]:=QDI[7]; LDI[2,3]:=QDI[4]; LDI[2,4]:=QDI[5];
LDI[3,1]:=QDI[7]; LDI[3,2]:=QDI[6]; LDI[3,3]:=QDI[5]; LDI[3,4]:=QDI[4];
LDI[1,1]:=QDI[5]; LDI[1,2]:=QDI[4]; LDI[1,3]:=QDI[7]; LDI[1,4]:=QDI[6];
LDI[2,1]:=QDI[6]; LDI[2,2]:=QDI[7]; LDI[2,3]:=QDI[4]; LDI[2,4]:=QDI[5];
LDI[3,1]:=QDI[7]; LDI[3,2]:=QDI[6]; LDI[3,3]:=QDI[5]; LDI[3,4]:=QDI[4];
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR N:=1 TO 3 DO
BEGIN
AJ[M,N]:=0;
AJ[M,N]:=0;
ADJ[M,N]:=0;
ADJ[M,N]:=0;
END;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR N:=1 TO 3 DO
FOR MN:=1 TO 4 DO
BEGIN
AJ[M,N]:=AJ[M,N]+GJ[M,MN]*LJ[N,MN];
AJ[M,N]:=AJ[M,N]+GJ[M,MN]*LJ[N,MN];
ADJ[M,N]:=ADJ[M,N]+GDI[M,MN]*LDI[N,MN];
ADJ[M,N]:=ADJ[M,N]+GDI[M,MN]*LDI[N,MN];
END;
FOR M:=1 TO 3 DO
BEGIN
SQ[M]:=CYLIN[K,M+6]-CYLIN[K,M];
SQJ[M]:=CYLIN[K,M+9]-CYLIN[K,M+3];
SP[M]:=CYLIN[K,M];
SPJ[M]:=CYLIN[K,M+3];
END;
{transfer to global coord}
FOR M:=1 TO 3 DO
BEGIN
SQJ[M]:=0;
SQJ[M]:=0;
SPJ[M]:=0;
SPJ[M]:=0;
END;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR N:=1 TO 3 DO

```

```

BEGIN
  SQIG[M]=AJ[M,N]*SQ[N]+SQIG[M];
  SQJ[M]=AJ[M,N]*SQ[N]+SQJ[M];
  SPJ[M]=AI[M,N]*SP[N]+SPJ[M];
  SPJG[M]=AJ[M,N]*SP[N]+SPJG[M];
END.

SPTI[1,1]=0;SPTI[2,2]=0;SPTI[3,3]=0;
SPTI[1,2]=SPJ[3];SPTI[1,3]=SPJ[2];SPTI[2,1]=SPJ[3];
SPTI[2,3]=SPJ[1];SPTI[3,1]=SPJ[2];SPTI[3,2]=SPJ[1];
SPTJ[1,1]=0;SPTJ[2,2]=0;SPTJ[3,3]=0;
SPTJ[1,2]=SPJ[3];SPTJ[1,3]=SPJ[2];SPTJ[2,1]=SPJ[3];
SPTJ[2,3]=SPJ[1];SPTJ[3,1]=SPJ[2];SPTJ[3,2]=SPJ[1];

{local coord.}
SQTI[1,1]=0;SQTI[2,2]=0;SQTI[3,3]=0;
SQTI[1,2]=SQJ[3];SQTI[1,3]=SQJ[2];SQTI[2,1]=SQJ[3];
SQTI[2,3]=SQJ[1];SQTI[3,1]=SQJ[2];SQTI[3,2]=SQJ[1];
SQTJ[1,1]=0;SQTJ[2,2]=0;SQTJ[3,3]=0;
SQTJ[1,2]=SQJ[3];SQTJ[1,3]=SQJ[2];SQTJ[2,1]=SQJ[3];
SQTJ[2,3]=SQJ[1];SQTJ[3,1]=SQJ[2];SQTJ[3,2]=SQJ[1];
{global coord.}
SQTG[1,1]=0;SQTG[2,2]=0;SQTG[3,3]=0;
SQTG[1,2]=SQJG[3];SQTG[1,3]=SQJG[2];SQTG[2,1]=SQJG[3];
SQTG[2,3]=SQJG[1];SQTG[3,1]=SQJG[2];SQTG[3,2]=SQJG[1];
SQTJG[1,1]=0;SQTJG[2,2]=0;SQTJG[3,3]=0;
SQTJG[1,2]=SQJG[3];SQTJG[1,3]=SQJG[2];SQTJG[2,1]=SQJG[3];
SQTJG[2,3]=SQJG[1];SQTJG[3,1]=SQJG[2];SQTJG[3,2]=SQJG[1];

FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SPLJ[M,M]=0;SPLJ[M+1,M+1]=0;
    SPLJ[1,M+1]=SPJ[M];SPLJ[M+1,1]=SPJ[M];
    SPLJ[2,M+1]=SPTI[1,M];
    SPLJ[3,M+1]=SPTI[2,M];
    SPLJ[4,M+1]=SPTI[3,M];
    SPLJ[M,M]=0;SPLJ[M+1,M+1]=0;
    SPLJ[1,M+1]=SPJ[M];SPLJ[M+1,1]=SPJ[M];
    SPLJ[2,M+1]=SPTI[1,M];
    SPLJ[3,M+1]=SPTI[2,M];
    SPLJ[4,M+1]=SPTI[3,M];

    SQLJ[M,M]=0;SQLJ[M+1,M+1]=0;
    SQLJ[1,M+1]=SQJ[M];SQLJ[M+1,1]=SQJ[M];
    SQLJ[2,M+1]=SQJ[1,M];
    SQLJ[3,M+1]=SQJ[2,M];
    SQLJ[4,M+1]=SQJ[3,M];
    END.

    SPJG[M]=AJ[M,N]*SPJ[N]+SPJG[M];
    SPJG[M+1,1]=SQJ[M];
    SPJG[M+1,2]=SQJ[1,M];
    SPJG[M+1,3]=SQJ[2,M];
    SPJG[M+1,4]=SQJ[3,M];
    END.

    DTI[1,1]=0;DTI[2,2]=0;DTI[3,3]=0;
    DTI[1,2]=D[3];DTI[1,3]=D[2];
    DTI[2,1]=D[3];DTI[2,3]=D[1];
    DTI[3,1]=D[2];DTI[3,2]=D[1];

    FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO
      BEGIN
        GSLJ[M,M]=0;
        GSLJ[M,N]=0;
        END.
        FOR MN:=1 TO 4 DO
          FOR MN:=1 TO 4 DO
            FOR N:=1 TO 4 DO
              BEGIN
                GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
                GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
                END.
                FOR M:=1 TO 3 DO BEGIN GPDJ[M]=0; GPDJ[M]=0; END;
                FOR M:=1 TO 3 DO
                  FOR MN:=1 TO 4 DO
                    FOR MN:=1 TO 4 DO
                      BEGIN
                        GPDJ[M]=GSLJ[M,MN]*QD[L,MN]+GPDJ[M];
                        GPDJ[M]=GSLJ[M,MN]*QD[L,MN]+GPDJ[M];
                      END.
                    END.
                    FOR M:=1 TO 3 DO DD[M]=QD[L,M]+2*GPDJ[M]-QD[L,M]-2*GPDJ[M];
                    {for Cylindrical equations S~i*Sj and S~i*D}
                    FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
                      STS[M,N]=SQJG[M,N]*SQJG[N];

```



```

FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
  STD[M,N]:=SQJIG[M,N]*D[N];
{the next is for select 4 out of 6 equations}
{JUST THE FIRST TIME}
IF (III=1) THEN
BEGIN
FOR M:=1 TO 3 DO NUM[M]:=0;
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
  BEGIN
  IF (ABS(SQJIG[M,N])>0.000001) THEN NUM[M]:=NUM[M]+1;
  END;
IF (NUM[1]>=NUM[2]) AND (NUM[1]>=NUM[3]) THEN
  BEGIN
  NUM1[K]:=1;
  IF (NUM[2]>=NUM[3]) THEN NUM2[K]:=2 ELSE NUM2[K]:=3;
  END;
IF (NUM[2]>=NUM[3]) AND (NUM[2]>=NUM[2]) THEN
  BEGIN
  NUM1[K]:=2;
  IF (NUM[1]>=NUM[3]) THEN NUM2[K]:=1 ELSE NUM2[K]:=3;
  END;
IF (NUM[3]>=NUM[1]) AND (NUM[3]>=NUM[2]) THEN
  BEGIN
  NUM1[K]:=3;
  IF (NUM[2]>=NUM[1]) THEN NUM2[K]:=2 ELSE NUM2[K]:=1;
  END;
  }
  FOR M:=1 TO 3 DO NUM[M]:=0;
  FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
  BEGIN
  IF (ABS(SQJIG[M,N])>0.00001) THEN NUM[M]:=NUM[M]+1;
  END;
IF (NUM[1]>=NUM[2]) AND (NUM[1]>=NUM[3]) THEN
  BEGIN
  NUM3:=1;
  IF (NUM[2]>=NUM[3]) THEN NUM4:=2 ELSE NUM4:=3;
  END;
IF (NUM[2]>=NUM[3]) AND (NUM[2]>=NUM[2]) THEN
  BEGIN
  NUM3:=2;
  IF (NUM[1]>=NUM[3]) THEN NUM4:=1 ELSE NUM4:=3;
  END;
IF (NUM[3]>=NUM[1]) AND (NUM[3]>=NUM[2]) THEN
  BEGIN
  NUM3:=3;
  IF (NUM[1]>=NUM[2]) THEN NUM4:=6+QI[.6]*QD[L,7]);
  OMEG[1]:=2*(-QI[.5]*QD[L,4]+QI[.4]*QD[L,5]-QI[.7]*QD[L,6]+QI[.6]*QD[L,7]);
  OMEG[2]:=2*(-QI[.6]*QD[L,4]+QI[.7]*QD[L,5]+QI[.4]*QD[L,6]-QI[.5]*QD[L,7]);
  OMEG[3]:=2*(-QI[.7]*QD[L,4]-QI[.6]*QD[L,5]+QI[.5]*QD[L,6]+QI[.4]*QD[L,7]);
  OMEGT[1,1]:=0;OMEGT[2,2]:=0;OMEGT[3,3]:=0;
  OMEGT[1,2]:=-OMEG[3];OMEGT[2,1]:=-OMEG[3];
  OMEGT[1,3]:=-OMEG[2];OMEGT[3,1]:=-OMEG[2];
  OMEGT[2,3]:=-OMEG[1];OMEGT[3,2]:=-OMEG[1];
  }
  IF (FNCT=1) THEN {constraint equations}
  BEGIN
  FOR M:=1 TO 3 DO F[M]:=STS[M,1]+STS[M,2]+STS[M,3];
  FOR M:=1 TO 3 DO F[M]:=STD[M,1]+STD[M,2]+STD[M,3];
  F[R+1]:=F[1]*NUM1[K];
  F[R+2]:=F[2]*NUM2[K];
  F[R+3]:=F[3]*NUM1[K];
  F[R+4]:=F[4]*NUM2[K];
  END;
IF (FNCT=2) THEN {right-hand-side of velocity equations}
  FOR M:=1 TO 4 DO
  F[R+M]:=0;
IF (FNCT=3) THEN {right-hand-side of acceleration equations}
  BEGIN
  {the same as revolute part}
  FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
  ASJ[M]:=0; ASJM[M]:=0;
  END;
  FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
  BEGIN
  AS[M]:=ASJ[M]+ADJ[M,N]*SQJ[N];
  ASJM[M]:=ASJM[M]+ADJ[M,N]*SQJ[N];
  END;
  }
  {for velocity of Q point in global coord for s"-;}
  OMEG[1]:=2*(-QI[.5]*QD[L,4]+QI[.4]*QD[L,5]-QI[.7]*QD[L,6]+QI[.6]*QD[L,7]);
  OMEG[2]:=2*(-QI[.6]*QD[L,4]+QI[.7]*QD[L,5]+QI[.4]*QD[L,6]-QI[.5]*QD[L,7]);
  OMEG[3]:=2*(-QI[.7]*QD[L,4]-QI[.6]*QD[L,5]+QI[.5]*QD[L,6]+QI[.4]*QD[L,7]);
  OMEGT[1,1]:=0;OMEGT[2,2]:=0;OMEGT[3,3]:=0;
  OMEGT[1,2]:=-OMEG[3];OMEGT[2,1]:=-OMEG[3];
  OMEGT[1,3]:=-OMEG[2];OMEGT[3,1]:=-OMEG[2];
  OMEGT[2,3]:=-OMEG[1];OMEGT[3,2]:=-OMEG[1];
  }

```

```

DQJ1]=QD[1,J]+OMEGT[1,1]*SQJ[1]+OMEGT[1,2]*SQJG[2]+OMEGT[1,3]*SQJG[3];
DQJ2]=QD[2,J]+OMEGT[2,1]*SQJ[1]+OMEGT[2,2]*SQJG[2]+OMEGT[2,3]*SQJG[3];
DQJ3]=QD[3,J]+OMEGT[3,1]*SQJ[1]+OMEGT[3,2]*SQJG[2]+OMEGT[3,3]*SQJG[3];

OMEG[1,1]=2*(-QJ,5]*QD[J,4]+QJ,4]*QD[J,5]-QJ,7]*QD[J,6]+QJ,6]*QD[J,7]);
OMEG[2,1]=2*(-QJ,6]*QD[J,4]+QJ,7]*QD[J,5]+QJ,4]*QD[J,6]-QJ,5]*QD[J,7]);
OMEG[3,1]=2*(-QJ,7]*QD[J,4]-QJ,6]*QD[J,5]+QJ,5]*QD[J,6]+QJ,4]*QD[J,7]);

OMEGT[1,1]=0;OMEGT[2,2]=0;OMEGT[3,3]=0;
OMEGT[1,2]=-OMEG[3];OMEGT[2,1]=+OMEG[3];
OMEGT[1,3]=+OMEG[2];OMEGT[3,1]=-OMEG[2];
OMEGT[2,3]=-OMEG[1];OMEGT[3,2]=+OMEG[1];

DQJ1]=QD[1,J]+OMEGT[1,1]*SQJ[1]+OMEGT[1,2]*SQJG[2]+OMEGT[1,3]*SQJG[3];
DQJ2]=QD[2,J]+OMEGT[2,1]*SQJ[1]+OMEGT[2,2]*SQJG[2]+OMEGT[2,3]*SQJG[3];
DQJ3]=QD[3,J]+OMEGT[3,1]*SQJ[1]+OMEGT[3,2]*SQJG[2]+OMEGT[3,3]*SQJG[3];

DQTI[1,1]=0;DQTI[2,2]=0;DQTI[3,3]=0;
DQTI[1,2]=-DQI[3];DQTI[1,3]=+DQI[2];DQTI[2,1]=+DQI[3];
DQTI[2,3]=-DQI[1];DQTI[3,1]=-DQI[2];DQTI[3,2]=+DQI[1];

FOR M:=1 TO 3 DO FJ[M]=0;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    F[M]=SQTI[G[M,N]]*(-2)*ASJ[M]-SQTI[G[M,N]]*(-2)*ASJ[M]-
2*DQTI[M,N]*DQJ[M]+FJ[M];

FIR+1]=FJ[1];
FIR+2]=FJ[2];
{cylindrical part}
FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    ASPJ[M]=0; ASPJ[M]=0;
  END;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR N:=1 TO 3 DO
      BEGIN
        ASPJ[M]=ASPJ[M]+ADJ[M,N]*SPJ[N];
        ASPJ[M]=ASPJ[M]+ADJ[M,N]*SPJ[N];
      END;
    FOR M:=1 TO 3 DO FJ[M]=0;
    FOR M:=1 TO 3 DO
      FOR N:=1 TO 3 DO
        {cylindrical part}
        BEGIN
          ASPJ[M]=0; ASPJ[M]=0;
          END;
          FOR M:=1 TO 3 DO
            FOR N:=1 TO 3 DO
              BEGIN
                ASPJ[M]=ASPJ[M]+ADJ[M,N]*SPJ[N];
                ASPJ[M]=ASPJ[M]+ADJ[M,N]*SPJ[N];
              END;
            FOR M:=1 TO 3 DO FJ[M]=0;
            FOR M:=1 TO 3 DO
              FOR N:=1 TO 3 DO
                FJ[M]=SQTI[G[M,N]]*(-2)*ASJ[M]+2*ASPJ[N]-DQTI[M,N]*(-2)*ASJ[N]
-2*DQTI[M,N]*DD[N]+FJ[M];
                FIR+3]=FJ[1];
                FIR+4]=FJ[2];
              END;
            IF(JACOB>0) THEN {jacobian matrix nonzero entries}
              BEGIN
                ICI:=7*(I-1); ICJ:=7*(J-1);
                {revolute part}
                {prepare for selection equation}
                FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[M,N]=0;
                FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
                FOR M:=1 TO 3 DO
                  FOR MN:=1 TO 3 DO
                    FOR MN:=1 TO 4 DO
                      FOR N:=1 TO 4 DO
                        GSLJ[M,MN]=G[M,N]*SQLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
                      FOR M:=1 TO 3 DO
                        FOR N:=1 TO 4 DO
                          FOR MN:=1 TO 3 DO
                            FOR MN:=1 TO 4 DO
                              FQJ[M,N]=2*SQTI[G[M,MN]]*GSLJ[MN,N]+FQJ[M,N];
                              {here is very easy to mistake}
                            FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[M,N]=0;
                            FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
                            FOR M:=1 TO 3 DO
                              FOR MN:=1 TO 3 DO
                                FOR N:=1 TO 4 DO
                                  FOR N:=1 TO 4 DO
                                    FOR N:=1 TO 3 DO
                                      FOR N:=1 TO 3 DO
                                        FOR MN:=1 TO 3 DO
                                          FOR MN:=1 TO 4 DO
                                            FQJ[M,N]=FJ[1];
                                            FQJ[M,N]=FJ[2];
                                          {cylindrical part}
                                          FOR M:=1 TO 3 DO
                                            FOR M:=1 TO 3 DO
                                              FOR N:=1 TO 3 DO
                                                FOR N:=1 TO 3 DO
                                                  FOR MN:=1 TO 3 DO
                                                    FOR MN:=1 TO 4 DO
                                                      FQJ[M,N]=FQJ[M,N]+FQJ[M,N];
                                                    BEGIN
                                                      FQJ[M,N]=FQJ[M,N]+FQJ[M,N];
                                                      FQJ[M,N]=FQJ[M,N]+FQJ[M,N];
                                                      FQJ[M,N]=FQJ[M,N]+FQJ[M,N];
                                                      FQJ[M,N]=FQJ[M,N]+FQJ[M,N];
                                                    END;
                                                  {cylindrical part}
                                                  FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
                                                  FOR M:=1 TO 3 DO
                                                    FOR MN:=1 TO 3 DO
                                                      FOR MN:=1 TO 4 DO

```

## Appendix A

```

FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,MN]:=GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]:=0;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR MN:=1 TO 4 DO
    FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,MN]:=GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
  FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLQ[M,N]:=0;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR MN:=1 TO 4 DO
      FOR N:=1 TO 4 DO GSLQ[M,MN]:=GJ[M,N]*SQLJ[N,MN]+GSLQ[M,MN];
    FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[M,N]:=0;
    FOR M:=1 TO 3 DO
      FOR N:=1 TO 4 DO
        FOR MN:=1 TO 3 DO
          FQJ[M,N]:=-2*SQTJ[G[M,MN]*GSLJ[MN,N]-2*DTJ[M,MN]*GSLQ[MN,N]+FQJ[M,N];
        FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[M,N]:=0;
        FOR M:=1 TO 3 DO
          FOR N:=1 TO 4 DO
            FOR MN:=1 TO 3 DO
              FQJ[M,N]:=2*SQTIG[M,MN]*GSLJ[MN,N]+FQJ[M,N];
            FOR M:=1 TO 4 DO
              BEGIN
                FQJ[R+3,ICJ+M+3]:=FQJ[NUMBER1][K],M];
                FQJ[R+4,ICJ+M+3]:=FQJ[NUMBER2][K],M];
                FQJ[R+3,ICJ+M+3]:=FQJ[NUMBER1][K],M];
                FQJ[R+4,ICJ+M+3]:=FQJ[NUMBER2][K],M];
                END;
            FOR M:=1 TO 3 DO
              BEGIN
                FQJ[R+3,ICJ+M]:=-SQTIG[NUMBER1][K],M];
                FQJ[R+3,ICJ+M]:=-SQTIG[NUMBER1][K],M];
                FQJ[R+4,ICJ+M]:=-SQTIG[NUMBER2][K],M];
                FQJ[R+4,ICJ+M]:=-SQTIG[NUMBER2][K],M];
                END;
            IR:=IR+4;
            END;
            IF(JACOB<=0) THEN IR:=IR+4;
            END;
            END;
            END.

```

```

UNIT YOUNG_4;
{ this unit includes calculations of some types of joints}
INTERFACE
USES YOUNG_1, YOUNG_3;
(*1*)PROCEDURE DO_TRANS1(VAR TRANS:M3X18; VAR ITRANS:N3X2; VAR
BODY:M10X7; VAR Q,
    QD:M10X7; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NTRANS,NBODY,
    JACOB,IFNCT,IR,ICL,ICJ:INTEGER;III:INTEGER);
(*2*)PROCEDURE DO_TRANS2(VAR TRANS:M3X18; VAR ITRANS:N3X2; VAR
BODY:M10X7; VAR Q,
    QD:M10X7; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NTRANS,NBODY,
    JACOB,IFNCT,IR,ICL,ICJ:INTEGER;NUM1,NUM2:N10X1;NUM3,
    NUM4:INTEGER);
(*3*)PROCEDURE DO_SCREW1(VAR SCREW:M4X19; VAR ISCREW:N3X2; VAR
BODY:M10X7;VAR
    Q,QD:M10X7;VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NSCREW,
    NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICL,ICJ:INTEGER;III:INTEGER);
(*4*)PROCEDURE DO_SCREW2(VAR SCREW:M4X19; VAR ISCREW:N3X2; VAR
BODY:M10X7;VAR
    Q,QD:M10X7;VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NSCREW,
    NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICL,ICJ:INTEGER;D:M3X1;SINQ,
    COSQ,DS:REAL;GHLJ,GHLI:M3X4;SHIG,SHJG:M3X1;SPLJ,SPLI:
    M4X4;NUM1,NUM2:N10X1;NUM3,NUM4:INTEGER);
(*5*)PROCEDURE DO_SIMPL(VAR SIMPL:M18X1; VAR ISIMPL:N36X2; VAR
BODY:M10X7,
    VAR Q,QD:M10X7; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NSIMPL,
    NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICL,ICJ:INTEGER);
(*6*)PROCEDURE DO_SIMP2(VAR SIMP2:M18X1; VAR ISIMP2:N5X3; VAR BODY:M10X7;
    VAR Q,QD:M10X7; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NSIMP2,
    NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICL,ICJ:INTEGER);
(*7*)PROCEDURE DO_DRIVE(VAR DRIVE:M4X12; VAR IDRIVE:N3X2; VAR
BODY:M10X7,
    VAR Q,QD:M10X7; VAR FQ:M70X70; VAR F:M70X1; VAR NDRIVE,
    NBODY,JACOB,IFNCT,IR,ICL,ICJ:INTEGER;T:REAL);
(*8*)PROCEDURE DO_GL(VAR Q,QD:M10X7; VAR GLLI,GJLJ,GDI,GDJ,LDI,LDJ:M3X4;
    VAR AL,AJ,ADI,ADJ:M3X3; VAR I,J:INTEGER);

IMPLEMENTATION
{-----1-----}
PROCEDURE DO_TRANS1;
BEGIN
    AJ[M,N] := 0;
    ADI[M,N] := 0;

```

```

FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    BEGIN
      AJ[M,N] := 0;
      ADI[M,N] := 0;

```

```

FOR K:=1 TO NTRANS DO
  BEGIN
    I:=ITRANS[K,1];
    J:=ITRANS[K,2];
    {prepare data}
    G[I,1,1] := -Q[I,5]; G[I,1,2] := +Q[I,4]; G[I,1,3] := -Q[I,7]; G[I,1,4] := +Q[I,6];
    G[I,2,1] := -Q[I,6]; G[I,2,2] := +Q[I,7]; G[I,2,3] := +Q[I,4]; G[I,2,4] := -Q[I,5];
    G[I,3,1] := -Q[I,7]; G[I,3,2] := -Q[I,6]; G[I,3,3] := +Q[I,5]; G[I,3,4] := +Q[I,4];
    L[I,1,1] := -Q[I,5]; L[I,1,2] := +Q[I,4]; L[I,1,3] := +Q[I,7]; L[I,1,4] := -Q[I,6];
    L[I,2,1] := -Q[I,6]; L[I,2,2] := -Q[I,7]; L[I,2,3] := +Q[I,4]; L[I,2,4] := +Q[I,5];
    L[I,3,1] := -Q[I,7]; L[I,3,2] := +Q[I,6]; L[I,3,3] := -Q[I,5]; L[I,3,4] := +Q[I,4];
    G[J,1,1] := -Q[J,5]; G[J,1,2] := +Q[J,4]; G[J,1,3] := -Q[J,7]; G[J,1,4] := +Q[J,6];
    G[J,2,1] := -Q[J,6]; G[J,2,2] := +Q[J,7]; G[J,2,3] := +Q[J,4]; G[J,2,4] := -Q[J,5];
    G[J,3,1] := -Q[J,7]; G[J,3,2] := -Q[J,6]; G[J,3,3] := +Q[J,5]; G[J,3,4] := +Q[J,4];
    L[J,1,1] := -Q[J,5]; L[J,1,2] := +Q[J,4]; L[J,1,3] := +Q[J,7]; L[J,1,4] := -Q[J,6];
    L[J,2,1] := -Q[J,6]; L[J,2,2] := -Q[J,7]; L[J,2,3] := +Q[J,4]; L[J,2,4] := +Q[J,5];
    L[J,3,1] := -Q[J,7]; L[J,3,2] := +Q[J,6]; L[J,3,3] := -Q[J,5]; L[J,3,4] := +Q[J,4];
    GDI[1,1] := -QDI[5]; GDI[1,2] := QDI[4]; GDI[1,3] := -QDI[7]; GDI[1,4] := QDI[6];
    GDI[2,1] := -QDI[6]; GDI[2,2] := QDI[7]; GDI[2,3] := QDI[4]; GDI[2,4] := -QDI[5];
    GDI[3,1] := -QDI[7]; GDI[3,2] := -QDI[6]; GDI[3,3] := QDI[5]; GDI[3,4] := QDI[4];
    GDJ[1,1] := -QDJ[5]; GDJ[1,2] := QDJ[4]; GDJ[1,3] := -QDJ[7]; GDJ[1,4] := QDJ[6];
    GDJ[2,1] := -QDJ[6]; GDJ[2,2] := QDJ[7]; GDJ[2,3] := QDJ[4]; GDJ[2,4] := -QDJ[5];
    GDJ[3,1] := -QDJ[7]; GDJ[3,2] := -QDJ[6]; GDJ[3,3] := QDJ[5]; GDJ[3,4] := QDJ[4];
    LDI[1,1] := -QDI[5]; LDI[1,2] := QDI[4]; LDI[1,3] := -QDI[7]; LDI[1,4] := QDI[6];
    LDI[2,1] := -QDI[6]; LDI[2,2] := QDI[7]; LDI[2,3] := QDI[4]; LDI[2,4] := -QDI[5];
    LDI[3,1] := -QDI[7]; LDI[3,2] := -QDI[6]; LDI[3,3] := QDI[5]; LDI[3,4] := QDI[4];
    LDJ[1,1] := -QDJ[5]; LDJ[1,2] := QDJ[4]; LDJ[1,3] := -QDJ[7]; LDJ[1,4] := QDJ[6];
    LDJ[2,1] := -QDJ[6]; LDJ[2,2] := QDJ[7]; LDJ[2,3] := QDJ[4]; LDJ[2,4] := -QDJ[5];
    LDJ[3,1] := -QDJ[7]; LDJ[3,2] := -QDJ[6]; LDJ[3,3] := QDJ[5]; LDJ[3,4] := QDJ[4];

```

```

ADJ[M,N]:=0;
END;

FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    FOR MN:=1 TO 4 DO
      BEGIN
        AJ[M,N]:=AJ[M,N]+GJ[M,MN]*LJ[N,MN];
        AJ[M,N]:=AJ[M,N]+GJ[M,MN]*LJ[N,MN];
        ADJ[M,N]:=ADJ[M,N]+GDJ[M,MN]*LDI[N,MN];
        ADJ[M,N]:=ADJ[M,N]+GDJ[M,MN]*LDJ[N,MN];
      END;
    }
  DO_GL(A^Q,A^QD,GJ,L,GJ,L,GDI,GDI,LDJ,LDJ,AJ,ADJ,ADJ,I,J);
}

FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SPI[M]:=TRANS[K,M];
    SPJ[M]:=TRANS[K,M+3];
    SQI[M]:=TRANS[K,M+6]-TRANS[K,M];
    SQJ[M]:=TRANS[K,M+9]-TRANS[K,M+3];
    SHI[M]:=TRANS[K,M+12]-TRANS[K,M];
    SHJ[M]:=TRANS[K,M+15]-TRANS[K,M+3];
  END;

{transfer to global coord}
FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SQIG[M]:=0;
    SQJG[M]:=0;
    SPIG[M]:=0;
    SPJG[M]:=0;
    SHIG[M]:=0;
    SHJG[M]:=0;
  END;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    BEGIN
      SQIG[M]:=AJ[M,N]*SQI[N]+SQJG[M];
      SQJG[M]:=AJ[M,N]*SQJ[N]+SQJG[M];
      SPIG[M]:=AJ[M,N]*SPI[N]+SPJG[M];
      SPJG[M]:=AJ[M,N]*SPJ[N]+SPJG[M];
      SHIG[M]:=AJ[M,N]*SHI[N]+SHJG[M];
      SHJG[M]:=AJ[M,N]*SHJ[N]+SHJG[M];
    }
  }
}

END;

SPTI[1,1]:=0;SPTI[2,2]:=0;SPTI[3,3]:=0;
SPTI[1,2]:=-SPI[3];SPTI[1,3]:=-SPJ[2];SPTI[2,1]:=-SPI[3];
SPTI[2,3]:=-SPI[1];SPTI[3,1]:=-SPJ[2];SPTI[3,2]:=-SPI[1];
SPTJ[1,1]:=0;SPTJ[2,2]:=0;SPTJ[3,3]:=0;
SPTJ[1,2]:=-SPJ[3];SPTJ[1,3]:=-SPJ[2];SPTJ[2,1]:=-SPJ[3];
SPTJ[2,3]:=-SPJ[1];SPTJ[3,1]:=-SPJ[2];SPTJ[3,2]:=-SPJ[1];
{local coord.}
SQTI[1,1]:=0;SQTI[2,2]:=0;SQTI[3,3]:=0;
SQTI[1,2]:=-SQI[3];SQTI[1,3]:=-SQJ[2];SQTI[2,1]:=-SQI[3];
SQTI[2,3]:=-SQI[1];SQTI[3,1]:=-SQJ[2];SQTI[3,2]:=-SQI[1];
SQTJ[1,1]:=0;SQTJ[2,2]:=0;SQTJ[3,3]:=0;
SQTJ[1,2]:=-SQJ[3];SQTJ[1,3]:=-SQJ[2];SQTJ[2,1]:=-SQJ[3];
SQTJ[2,3]:=-SQJ[1];SQTJ[3,1]:=-SQJ[2];SQTJ[3,2]:=-SQJ[1];
{global coord.}
SQTIG[1,1]:=0;SQTIG[2,2]:=0;SQTIG[3,3]:=0;
SQTIG[1,2]:=-SQIG[3];SQTIG[1,3]:=-SQJG[2];SQTIG[2,1]:=-SQIG[3];
SQTIG[2,3]:=-SQIG[1];SQTIG[3,1]:=-SQJG[2];SQTIG[3,2]:=-SQIG[1];
SQTJG[1,1]:=0;SQTJG[2,2]:=0;SQTJG[3,3]:=0;
SQTJG[1,2]:=-SQJG[3];SQTJG[1,3]:=-SQJG[2];SQTJG[2,1]:=-SQJG[3];
SQTJG[2,3]:=-SQJG[1];SQTJG[3,1]:=-SQJG[2];SQTJG[3,2]:=-SQJG[1];

FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SPLI[M,M]:=0;SPLI[M+1,M+1]:=0;
    SPLJ[1,M+1]:=-SPI[M];SPLI[M+1,1]:=-SPJ[M];
    SPLI[2,M+1]:=-SPTI[1,M];
    SPLI[3,M+1]:=-SPTI[2,M];
    SPLI[4,M+1]:=-SPTI[3,M];
    SPLJ[M,M]:=0;SPLJ[M+1,M+1]:=0;
    SPLJ[1,M+1]:=-SPJ[M];SPLJ[M+1,1]:=-SPI[M];
    SPLJ[2,M+1]:=-SPTJ[1,M];
    SPLJ[3,M+1]:=-SPTJ[2,M];
    SPLJ[4,M+1]:=-SPTJ[3,M];
    Sqli[M,M]:=0;Sqli[M+1,M+1]:=0;
    Sqli[1,M+1]:=-SQI[M];Sqli[M+1,1]:=-SQJ[M];
    Sqli[2,M+1]:=-SQTI[1,M];
    Sqli[3,M+1]:=-SQTI[2,M];
    Sqli[4,M+1]:=-SQTI[3,M];
    SqliJ[M,M]:=0;SqliJ[M+1,M+1]:=0;
    SqliJ[1,M+1]:=-SQJ[M];SqliJ[M+1,1]:=-SQI[M];
  }
}

```

```

SQLJ[2,M+1]=SQI[J1,M];
SQLJ[3,M+1]=SQI[J2,M];
SQLJ[4,M+1]=SQI[J3,M];
END;

{about D}
FOR M:=1 TO 3 DO D[M]=Q[J,M]+SPJ[G[M]-Q[J,M]-SPI[G[M];
DTI[1,1]=0;DTI[2,2]=0;DTI[3,3]=0;
DTI[1,2]=-D[3];DTI[1,3]=+D[2];
DTI[2,1]=+D[3];DTI[2,3]=-D[1];
DTI[3,1]=-D[2];DTI[3,2]=+D[1];
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO
BEGIN
GSLJ[M,N]=0;
GSLJ[M,N]=0;
END;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR MN:=1 TO 4 DO
FOR N:=1 TO 4 DO
{3x4*4x4}
BEGIN
GSLJ[M,MN]=GJM[N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
GSLJ[M,MN]=GJM[N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
END;
FOR M:=1 TO 3 DO BEGIN GPDJ[M]=0; GPDJ[M]=0; END;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR MN:=1 TO 4 DO {3X4*4X1}
BEGIN
GPDJ[M]=GSLJ[M,MN]*QD[J,MN]+GPDJ[M];
GPDJ[M]=GSLJ[M,MN]*QD[J,MN]+GPDJ[M];
END;
FOR M:=1 TO 3 DO DD[M]=QD[J,M]+2*GPDJ[M]-QD[J,M]-2*GPDJ[M];
{for Cylindrical equations S-i*Sj and S-i*D}
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
STS[M,N]=SQIIG[M,N]*SQJ[N];
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
STD[M,N]=SQIIG[M,N]*D[N];
{the next is for select 4 out of 6 equations}
{just the first time}

```

```

IF (III=1) THEN
BEGIN
FOR M:=1 TO 3 DO NUM[M]=0;
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
BEGIN
IF (ABS(SQIIG[M,N])>0.001) THEN NUM[M]=NUM[M]+1;
END;
IF (NUM[1]>=NUM[2]) AND (NUM[1]>=NUM[3]) THEN
BEGIN
NUM1[K]=1;
IF (NUM[2]>=NUM[3]) THEN NUM2[K]=2 ELSE NUM2[K]=3;
END;
IF (NUM[2]>=NUM[3]) AND (NUM[2]>=NUM[2]) THEN
BEGIN
NUM1[K]=2;
IF (NUM[1]>=NUM[3]) THEN NUM2[K]=1 ELSE NUM2[K]=3;
END;
IF (NUM[3]>=NUM[1]) AND (NUM[3]>=NUM[2]) THEN
BEGIN
NUM1[K]=3;
IF (NUM[2]>=NUM[1]) THEN NUM2[K]=2 ELSE NUM2[K]=1;
END;
{ FOR M:=1 TO 3 DO NUM[M]=0;
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
BEGIN
IF (ABS(SQIIG[M,N])>0.00001) THEN NUM[M]=NUM[M]+1;
END;
IF (NUM[1]>=NUM[2]) AND (NUM[1]>=NUM[3]) THEN
BEGIN
NUM3:=1;
IF (NUM[2]>=NUM[3]) THEN NUM4:=2 ELSE NUM4:=3;
END;
IF (NUM[2]>=NUM[3]) AND (NUM[2]>=NUM[2]) THEN
BEGIN
NUM3:=2;
IF (NUM[1]>=NUM[3]) THEN NUM4:=1 ELSE NUM4:=3;
END;
IF (NUM[3]>=NUM[1]) AND (NUM[3]>=NUM[2]) THEN
BEGIN
NUM3:=3;
IF (NUM[2]>=NUM[1]) THEN NUM4:=2 ELSE NUM4:=1;
END;
} END;

```

```

{about Hi Hj}
SHTI[1,1]=0;SHTI[2,2]=0;SHTI[3,3]=0;
SHTI[1,2]=SHI[3];SHTI[1,3]=+SHI[2];SHTI[2,1]=+SHI[3];
SHTI[2,3]=SHI[1];SHTI[3,1]=SHI[2];SHTI[3,2]=+SHI[1];
SHTJ[1,1]=0;SHTJ[2,2]=0;SHTJ[3,3]=0;
SHTJ[1,2]=SHJ[3];SHTJ[1,3]=+SHJ[2];SHTJ[2,1]=+SHJ[3];
SHTJ[2,3]=SHJ[1];SHTJ[3,1]=SHJ[2];SHTJ[3,2]=+SHJ[1];
{global coord.}
SHTIG[1,1]=0;SHTIG[2,2]=0;SHTIG[3,3]=0;
SHTIG[1,2]=SHIG[3];SHTIG[1,3]=+SHIG[2];SHTIG[2,1]=+SHIG[3];
SHTIG[2,3]=SHIG[1];SHTIG[3,1]=SHIG[2];SHTIG[3,2]=+SHIG[1];
SHTJG[1,1]=0;SHTJG[2,2]=0;SHTJG[3,3]=0;
SHTJG[1,2]=SHJG[3];SHTJG[1,3]=+SHJG[2];SHTJG[2,1]=+SHJG[3];
SHTJG[2,3]=SHJG[1];SHTJG[3,1]=SHJG[2];SHTJG[3,2]=+SHJG[1];

FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SHLJM[M]=0;SHLJM[M+1,M+1]=0;
    SHLJ[1,M+1]=SHJ[M];SHLJ[M+1,1]=SHI[M];
    SHLJ[2,M+1]=SHTI[1,M];
    SHLJ[3,M+1]=SHTI[2,M];
    SHLJ[4,M+1]=SHTI[3,M];
    SHLJM[M]=0;SHLJM[M+1,M+1]=0;
    SHLJ[1,M+1]=SHJ[M];SHLJ[M+1,1]=SHJ[M];
    SHLJ[2,M+1]=SHTJ[1,M];
    SHLJ[3,M+1]=SHTJ[2,M];
    SHLJ[4,M+1]=SHTJ[3,M];
  END;

IF (FNCT=1) THEN {constraint equations}
  BEGIN
    FOR M:=1 TO 3 DO FIMJ:=STS[M,1]+STS[M,2]+STS[M,3];
    FOR M:=1 TO 3 DO FIMJ:=STD[M,1]+STD[M,2]+STD[M,3];
    FIR+1:=FNUM1[K];
    FIR+2:=FNUM2[K];
    FIR+3:=FNUM1[K];
    FIR+4:=FNUM2[K];
    FIR+5:=SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]+SHIG[3]*SHJG[3];
  END;

IF (FNCT=2) THEN {right-hand-side of velocity equations}
  FOR M:=1 TO 5 DO

```

```

F[IR+M]=0;

```

```

IF (FNCT=3) THEN {right-hand-side of acceleration equations}
  BEGIN
    {the same as revolute part}
    FOR M:=1 TO 3 DO
      BEGIN
        ASJ[M]=0; ASJ[M]=0;
      END;
    FOR M:=1 TO 3 DO
      FOR N:=1 TO 3 DO
        BEGIN
          ASJM:=ASJM+ADJ[M,N]*SQ[N];
          ASJ[M]=ASJ[M]+ADJ[M,N]*SQ[N];
        END;
      END;

```

```

FOR M:=1 TO 3 DO

```

```

  {for velocity of Q point in global coord for s'~;}

```

```

  OMEG[1]=2*(-Q[5]*QD[4]+Q[4]*Q[7]*QD[5]-Q[6]*QD[4]+Q[6]*QD[7]);
  OMEG[2]=2*(-Q[6]*QD[4]+Q[7]*QD[5]+Q[4]*QD[6]-Q[5]*QD[7]);
  OMEG[3]=2*(-Q[7]*QD[4]-Q[4]*QD[5]+Q[5]*QD[6]+Q[6]*QD[7]);
  OMEGT[1,1]=0;OMEGT[2,2]=0;OMEGT[3,3]=0;
  OMEGT[1,2]=-OMEG[3];OMEGT[2,1]=+OMEG[3];
  OMEGT[1,3]=+OMEG[2];OMEGT[3,1]=-OMEG[2];
  OMEGT[2,3]=-OMEG[1];OMEGT[3,2]=+OMEG[1];
  DQJ[1]=QD[1,1]+OMEGT[1,1]*SQIG[1]+OMEGT[1,2]*SQIG[2]+OMEGT[1,3]*SQIG[3];
  DQJ[2]=QD[2,1]+OMEGT[2,1]*SQIG[1]+OMEGT[2,2]*SQIG[2]+OMEGT[2,3]*SQIG[3];
  DQJ[3]=QD[3,1]+OMEGT[3,1]*SQIG[1]+OMEGT[3,2]*SQIG[2]+OMEGT[3,3]*SQIG[3];
  OMEG[1]=2*(-QJ[5]*QD[4]+QJ[4]*QJ[7]*QD[5]-QJ[6]*QD[4]+QJ[6]*QD[7]);
  OMEG[2]=2*(-QJ[6]*QD[4]+QJ[7]*QD[5]+QJ[4]*QD[6]-QJ[5]*QD[7]);
  OMEG[3]=2*(-QJ[7]*QD[4]-QJ[4]*QD[5]+QJ[5]*QD[6]+QJ[6]*QD[7]);
  OMEGT[1,1]=0;OMEGT[2,2]=0;OMEGT[3,3]=0;
  OMEGT[1,2]=-OMEG[3];OMEGT[2,1]=+OMEG[3];
  OMEGT[1,3]=+OMEG[2];OMEGT[3,1]=-OMEG[2];
  OMEGT[2,3]=-OMEG[1];OMEGT[3,2]=+OMEG[1];
  DQJ[1]=QD[1,1]+OMEGT[1,1]*SQIG[1]+OMEGT[1,2]*SQIG[2]+OMEGT[1,3]*SQIG[3];
  DQJ[2]=QD[2,1]+OMEGT[2,1]*SQIG[1]+OMEGT[2,2]*SQIG[2]+OMEGT[2,3]*SQIG[3];
  DQJ[3]=QD[3,1]+OMEGT[3,1]*SQIG[1]+OMEGT[3,2]*SQIG[2]+OMEGT[3,3]*SQIG[3];
  DQTI[1,1]=0;DQTI[2,2]=0;DQTI[3,3]=0;

```

```

DQTI[1,2]=DQI[3];DQTI[1,3]=+DQI[2];DQTI[2,1]=+DQI[3];
DQTI[2,3]=DQI[1];DQTI[3,1]=DQI[2];DQTI[3,2]=+DQI[1];

FOR M:=1 TO 3 DO FII[M]=0;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    FII[M]=SQTI[G[M,N]*(-2)*ASJ[M]-SQTI[G[M,N]]*(-2)*ASJ[M]-
2*DQTI[M,N]*DQI[M]+FII[M];
FIR+1]=FII[NUM1[K]];
FIR+2]=FII[NUM2[K]];

{as the cylindrical part}
FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    ASPJ[M]=0; ASPJ[M]=0;
  END;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    BEGIN
      ASPJ[M]=ASPJ[M]+ADJ[M,N]*SPJ[N];
      ASPJ[M]=ASPJ[M]+ADJ[M,N]*SPJ[N];
    END;
FOR M:=1 TO 3 DO FII[M]=0;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    FII[M]=SQTI[G[M,N]*(-2)*ASPJ[N]+2*ASPJ[N]-DITI[M,N]]*(-2)*ASJ[N]
-2*DQTI[M,N]*DD[N]+FII[M];

FIR+3]=FII[NUM1[K]];
FIR+4]=FII[NUM2[K]];

{3 equation}
FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    ASI[M]=0; ASJ[M]=0;
  END;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    BEGIN
      ASI[M]=ASI[M]+ADJ[M,N]*SHJ[N];
      ASJ[M]=ASJ[M]+ADJ[M,N]*SHJ[N];
    END;
}for velocity of H point in global coord.}

DHI[1]=QD[1,J]+OMEGT[1,1]*SHIG[1]+OMEGT[1,2]*SHIG[2]+OMEGT[1,3]*SHIG[3];
DHI[2]=QD[2,J]+OMEGT[2,1]*SHIG[1]+OMEGT[2,2]*SHIG[2]+OMEGT[2,3]*SHIG[3];
DHI[3]=QD[3,J]+OMEGT[3,1]*SHIG[1]+OMEGT[3,2]*SHIG[2]+OMEGT[3,3]*SHIG[3];

DHIJ[1]=QD[1,J]+OMEGT[1,1]*SHJG[1]+OMEGT[1,2]*SHJG[2]+OMEGT[1,3]*SHJG[3];
DHIJ[2]=QD[2,J]+OMEGT[2,1]*SHJG[1]+OMEGT[2,2]*SHJG[2]+OMEGT[2,3]*SHJG[3];
DHIJ[3]=QD[3,J]+OMEGT[3,1]*SHJG[1]+OMEGT[3,2]*SHJG[2]+OMEGT[3,3]*SHJG[3];

FIR+5]=0;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FIR+5]=FIR+5]+SHIG[M]*(-2)*ASJ[M]
+SHJG[M]*(-2)*ASJ[M]
-2*DHI[M]*DHJ[M];
END;
DO_TRANS2(A^.TRANS,JA^.ITRANS,A^.BODY,A^.Q,A^.QD,A^.FQ,
A^.F,NTRANS,NBODY,JACOB,IFUNCT,IR,ICL,ICJ,NUM1,NUM2,NUM3,NUM4);

END;
END;
{-----}
PROCEDURE DO_TRANS2;
BEGIN
  IF(JACOB>0) THEN {jacobian matrix nonzero entries}
  BEGIN
    ICL:=7*(I-1); ICJ:=7*(J-1);

    {revolute part}
    {prepare for selection equation}
    FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO FQIJ[M,N]=0;
    FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLI[M,N]=0;
    FOR M:=1 TO 3 DO
      FOR MN:=1 TO 4 DO
        FOR N:=1 TO 4 DO GSLI[M,MN]=GII[M,N]*SQIJ[N,MN]+GSLIJ[M,MN];
      FOR M:=1 TO 3 DO
        FOR MN:=1 TO 4 DO
          FOR MN:=1 TO 3 DO FQIJ[M,N]=2*SQTI[G[M,MN]]*GSLI[MN,N]+FQIJ[M,N];
          {there is very easy to mistake}
        FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO FQJJ[M,N]=0;
        FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
        FOR M:=1 TO 3 DO

```



```

FOR MN:=1 TO 4 DO
  FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SQLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 4 DO
    FOR MN:=1 TO 3 DO FQJ[M,N]=2*SQTIG[M,MN]*GSLJ[MN,N]+FQJ[M,N];
  FOR M:=1 TO 4 DO
    BEGIN
      FQIR+1,ICI+M+3]=FQI[ NUM1[K],M];
      FQIR+2,ICI+M+3]=FQI[ NUM2[K],M];
      FQIR+1,ICI+M+3]=FQJ[ NUM1[K],M];
      FQIR+2,ICI+M+3]=FQJ[ NUM2[K],M];
    END;
  }Cylindrical part}
  FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR MN:=1 TO 4 DO
      FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
      FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
      FOR M:=1 TO 3 DO
        FOR MN:=1 TO 4 DO
          FOR N:=1 TO 4 DO GSLQ[M,MN]=GJ[M,N]*SQLJ[N,MN]+GSLQ[M,MN];
        FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO FQI[M,N]=0;
        FOR M:=1 TO 3 DO
          FOR MN:=1 TO 3 DO
            FQI[M,N]=-2*SQTIG[M,MN]*GSLI[MN,N]-2*DTI[M,MN]*GSLQ[MN,N]+FQI[M,N];
          FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[M,N]=0;
          FOR M:=1 TO 3 DO
            FOR N:=1 TO 4 DO
              FQJ[M,N]=-2*SQTIG[M,MN]*GSLJ[MN,N]+FQJ[M,N];
            FOR M:=1 TO 4 DO
              BEGIN
                FQIR+3,ICI+M+3]=FQI[ NUM1[K],M];
                FQIR+4,ICI+M+3]=FQI[ NUM2[K],M];
              END;
            FOR MN:=1 TO 4 DO
              FOR N:=1 TO 3 DO HQJ[M]=0;
              FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
              FOR M:=1 TO 3 DO
                FOR MN:=1 TO 4 DO
                  FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SHLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
                FOR M:=1 TO 4 DO HQJ[M]=2*SHI[G[N]*GSLJ[N,M]+HQJ[M];
                {here is very easy to mistake}
                FOR M:=1 TO 4 DO FQIR+5,ICI+3+M]=HQJ[M];
              FOR M:=1 TO 3 DO HQJ[M]=0;
              FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
              FOR M:=1 TO 3 DO
                FOR MN:=1 TO 4 DO
                  FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SHLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
                FOR M:=1 TO 4 DO
                  FOR N:=1 TO 3 DO HQJ[M]=2*SHI[G[N]*GSLJ[N,M]+HQJ[M];
                FOR M:=1 TO 4 DO FQIR+5,ICI+3+M]=HQJ[M];
              IR:=IR+5;
              END;
              IF(JACOB<=0) THEN IR:=IR+5;
              END;
              {-----9-----}
              PROCEDURE DO_SCREW1;
              VAR ASP,DD3,DD4,DD2,DS,SINQ:REAL;
              SHIJ:M3X1;
              BEGIN
                FOR K:=1 TO NSCREW DO
                  BEGIN

```

```

I:=ISCREW[K,1];
J:=ISCREW[K,2];

{prepare data}
DO_GL(A^Q,A^QD,GI,LI,GJ,LJ,GDI,GDJ,LDI,LDJ,AIAI,ADI,ADI,I,J);
{
  GI[1,1]=QI[5]; GI[1,2]=+QI[4]; GI[1,3]=QI[7]; GI[1,4]=+QI[6];
  GI[2,1]=QI[6]; GI[2,2]=+QI[7]; GI[2,3]=+QI[4]; GI[2,4]=QI[5];
  GI[3,1]=QI[7]; GI[3,2]=QI[6]; GI[3,3]=+QI[5]; GI[3,4]=+QI[4];

  LI[1,1]=QI[5]; LI[1,2]=+QI[4]; LI[1,3]=+QI[7]; LI[1,4]=QI[6];
  LI[2,1]=QI[6]; LI[2,2]=QI[7]; LI[2,3]=+QI[4]; LI[2,4]=+QI[5];
  LI[3,1]=QI[7]; LI[3,2]=+QI[6]; LI[3,3]=QI[5]; LI[3,4]=+QI[4];

  GJ[1,1]=QJ[5]; GJ[1,2]=+QJ[4]; GJ[1,3]=QJ[7]; GJ[1,4]=+QJ[6];
  GJ[2,1]=QJ[6]; GJ[2,2]=+QJ[7]; GJ[2,3]=+QJ[4]; GJ[2,4]=QJ[5];
  GJ[3,1]=QJ[7]; GJ[3,2]=QJ[6]; GJ[3,3]=+QJ[5]; GJ[3,4]=+QJ[4];

  LJ[1,1]=QJ[5]; LJ[1,2]=+QJ[4]; LJ[1,3]=+QJ[7]; LJ[1,4]=QJ[6];
  LJ[2,1]=QJ[6]; LJ[2,2]=QJ[7]; LJ[2,3]=+QJ[4]; LJ[2,4]=+QJ[5];
  LJ[3,1]=QJ[7]; LJ[3,2]=+QJ[6]; LJ[3,3]=QJ[5]; LJ[3,4]=+QJ[4];

  GDI[1,1]=QDI[5]; GDI[1,2]=QDI[4]; GDI[1,3]=QDI[7]; GDI[1,4]=QDI[6];
  GDI[2,1]=QDI[6]; GDI[2,2]=QDI[7]; GDI[2,3]=QDI[4]; GDI[2,4]=QDI[5];
  GDI[3,1]=QDI[7]; GDI[3,2]=QDI[6]; GDI[3,3]=QDI[5]; GDI[3,4]=QDI[4];

  GDJ[1,1]=QDJ[5]; GDJ[1,2]=QDJ[4]; GDJ[1,3]=QDJ[7]; GDJ[1,4]=QDJ[6];
  GDJ[2,1]=QDJ[6]; GDJ[2,2]=QDJ[7]; GDJ[2,3]=QDJ[4]; GDJ[2,4]=QDJ[5];
  GDJ[3,1]=QDJ[7]; GDJ[3,2]=QDJ[6]; GDJ[3,3]=QDJ[5]; GDJ[3,4]=QDJ[4];

  LDI[1,1]=QDI[5]; LDI[1,2]=QDI[4]; LDI[1,3]=QDI[7]; LDI[1,4]=QDI[6];
  LDI[2,1]=QDI[6]; LDI[2,2]=QDI[7]; LDI[2,3]=QDI[4]; LDI[2,4]=QDI[5];
  LDI[3,1]=QDI[7]; LDI[3,2]=QDI[6]; LDI[3,3]=QDI[5]; LDI[3,4]=QDI[4];

  LDJ[1,1]=QDJ[5]; LDJ[1,2]=QDJ[4]; LDJ[1,3]=QDJ[7]; LDJ[1,4]=QDJ[6];
  LDJ[2,1]=QDJ[6]; LDJ[2,2]=QDJ[7]; LDJ[2,3]=QDJ[4]; LDJ[2,4]=QDJ[5];
  LDJ[3,1]=QDJ[7]; LDJ[3,2]=QDJ[6]; LDJ[3,3]=QDJ[5]; LDJ[3,4]=QDJ[4];
}

FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    BEGIN
      AI[M,N]=0;
      AJ[M,N]=0;
      ADI[M,N]=0;
    END;
  END;
}

FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SPI[M]=SCREW[K,M];
    SPJ[M]=SCREW[K,M+3];
    SQI[M]=SCREW[K,M+6]{-SCREW[K,M]};
    SQJ[M]=SCREW[K,M+9]{-SCREW[K,M+3]};
    SHI[M]=SCREW[K,M+12]{-SCREW[K,M]};
    SHJ[M]=SCREW[K,M+15]{-SCREW[K,M+3]};
  END;
}

{transfer to global coord}
FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SOIG[M]=0;
    SQJG[M]=0;
    SPJG[M]=0;
    SPJG[M]=0;
    SHIG[M]=0;
    SHJG[M]=0;
  END;
}

FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR N:=1 TO 3 DO
    BEGIN
      SOJG[M]=AI[M,N]*SQI[N]+SQJG[M];
      SPIG[M]=AJ[M,N]*SQJ[N]+SQJG[M];
      SPJG[M]=AJ[M,N]*SPI[N]+SPIG[M];
      SHIG[M]=AI[M,N]*SHI[N]+SHIG[M];
      SHJG[M]=AJ[M,N]*SHJ[N]+SHJG[M];
    END;
  END;
}

```

```

SPTI[1,1]=0;SPTI[2,2]=0;SPTI[3,3]=0;
SPTI[1,2]=SP[3];SPTI[1,3]=+SP[2];SPTI[2,1]=+SP[3];
SPTI[2,3]=SP[1];SPTI[3,1]=+SP[2];SPTI[3,2]=+SP[1];
SPTJ[1,1]=0;SPTJ[2,2]=0;SPTJ[3,3]=0;
SPTJ[1,2]=+SP[3];SPTJ[1,3]=+SP[2];SPTJ[2,1]=+SP[3];
SPTJ[2,3]=+SP[1];SPTJ[3,1]=+SP[2];SPTJ[3,2]=+SP[1];
{local coord.}
SQTI[1,1]=0;SQTI[2,2]=0;SQTI[3,3]=0;
SQTI[1,2]=SQ[3];SQTI[1,3]=+SQ[2];SQTI[2,1]=+SQ[3];
SQTI[2,3]=SQ[1];SQTI[3,1]=SQ[2];SQTI[3,2]=+SQ[1];
SQTJ[1,1]=0;SQTJ[2,2]=0;SQTJ[3,3]=0;
SQTJ[1,2]=SQ[3];SQTJ[1,3]=+SQ[2];SQTJ[2,1]=+SQ[3];
SQTJ[2,3]=SQ[1];SQTJ[3,1]=SQ[2];SQTJ[3,2]=+SQ[1];
{global coord.}
SQTIG[1,1]=0;SQTIG[2,2]=0;SQTIG[3,3]=0;
SQTIG[1,2]=SQIG[3];SQTIG[1,3]=+SQIG[2];SQTIG[2,1]=+SQIG[3];
SQTIG[2,3]=SQIG[1];SQTIG[3,1]=SQIG[2];SQTIG[3,2]=+SQIG[1];
SQTJG[1,1]=0;SQTJG[2,2]=0;SQTJG[3,3]=0;
SQTJG[1,2]=SQJG[3];SQTJG[1,3]=+SQJG[2];SQTJG[2,1]=+SQJG[3];
SQTJG[2,3]=SQJG[1];SQTJG[3,1]=SQJG[2];SQTJG[3,2]=+SQJG[1];
FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
    SPLJ[M,M]=0;SPLJ[M+1,M+1]=0;
    SPLJ[1,M+1]=SPJ[M];SPLJ[M+1,1]=SPJ[M];
    SPLJ[2,M+1]=SPTJ[1,M];
    SPLJ[3,M+1]=SPTJ[2,M];
    SPLJ[4,M+1]=SPTJ[3,M];
    SPLJ[M,M]=0;SPLJ[M+1,M+1]=0;
    SPLJ[1,M+1]=SPJ[M];SPLJ[M+1,1]=SPJ[M];
    SPLJ[2,M+1]=SPTJ[1,M];
    SPLJ[3,M+1]=SPTJ[2,M];
    SPLJ[4,M+1]=SPTJ[3,M];
    SQLJ[M,M]=0;SQLJ[M+1,M+1]=0;
    SQLJ[1,M+1]=SQJ[M];SQLJ[M+1,1]=SQJ[M];
    SQLJ[2,M+1]=SQTI[1,M];
    SQLJ[3,M+1]=SQTI[2,M];
    SQLJ[4,M+1]=SQTI[3,M];
    SQLJ[M,M]=0;SQLJ[M+1,M+1]=0;
    SQLJ[1,M+1]=SQJ[M];SQLJ[M+1,1]=SQJ[M];
    SQLJ[2,M+1]=SQTJ[1,M];
    SQLJ[3,M+1]=SQTJ[2,M];
  END;
SQLJ[4,M+1]=SQTJ[3,M];
SQLJ[1,1]=0;DTI[2,2]=0;DTI[3,3]=0;
DTI[1,2]=D[3];DTI[1,3]=+D[2];
DTI[2,1]=+D[3];DTI[2,3]=D[1];
DTI[3,1]=D[2];DTI[3,2]=+D[1];
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO
  BEGIN
    GSLJ[M,N]=0;
    GSLJ[M,N]=0;
  END;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR MN:=1 TO 4 DO
    FOR N:=1 TO 4 DO
      {3x4*4x4}
      BEGIN
        GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
        GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
      END;
    END;
  END;
FOR M:=1 TO 3 DO BEGIN GPDJ[M]=0; GPDJ[M]=0; END;
FOR M:=1 TO 3 DO
  FOR MN:=1 TO 4 DO
    {3X4*4X1}
    BEGIN
      GPDJ[M]=GSLJ[M,MN]*QD[J,MN]+GPDJ[M];
      GPDJ[M]=GSLJ[M,MN]*QD[J,MN]+GPDJ[M];
    END;
  END;
FOR M:=1 TO 3 DO DD[M]=QD[J,M]+2*GPDJ[M]-QD[J,M]-2*GPDJ[M];
{for Cylindrical equations S~i*Sj and S~i*D}
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
  STS[M,N]=SQTIG[M,N]*SQJG[N];
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
  STD[M,N]=SQTIG[M,N]*D[N];
{the next is for select 4 out of 6 equations}
{for the first time only}
IF (III=1) THEN
  BEGIN

```

```

FOR M:=1 TO 3 DO NUM[M]:=0;
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
  BEGIN
  IF (ABS(SQRTIG[M,N])<0.00001) THEN NUM[M]:=NUM[M]+1;
  END;
IF (NUM[1]>=NUM[2]) AND (NUM[1]>=NUM[3]) THEN
  BEGIN
  NUM1[K]:=1;
  IF (NUM[2]>=NUM[3]) THEN NUM2[K]:=2 ELSE NUM2[K]:=3;
  END;
IF (NUM[2]>=NUM[3]) AND (NUM[2]>=NUM[2]) THEN
  BEGIN
  NUM1[K]:=2;
  IF (NUM[1]>=NUM[3]) THEN NUM2[K]:=1 ELSE NUM2[K]:=3;
  END;
IF (NUM[3]>=NUM[1]) AND (NUM[3]>=NUM[2]) THEN
  BEGIN
  NUM1[K]:=3;
  IF (NUM[2]>=NUM[1]) THEN NUM2[K]:=2 ELSE NUM2[K]:=1;
  END;
FOR M:=1 TO 3 DO NUM[M]:=0;
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 3 DO
  BEGIN
  IF (ABS(SQRTIG[M,N])>0.00001) THEN NUM[M]:=NUM[M]+1;
  END;
IF (NUM[1]>=NUM[2]) AND (NUM[1]>=NUM[3]) THEN
  BEGIN
  NUM3:=1;
  IF (NUM[2]>=NUM[3]) THEN NUM4:=2 ELSE NUM4:=3;
  END;
IF (NUM[2]>=NUM[3]) AND (NUM[2]>=NUM[2]) THEN
  BEGIN
  NUM3:=2;
  IF (NUM[1]>=NUM[3]) THEN NUM4:=1 ELSE NUM4:=3;
  END;
IF (NUM[3]>=NUM[1]) AND (NUM[3]>=NUM[2]) THEN
  BEGIN
  NUM3:=3;
  IF (NUM[2]>=NUM[1]) THEN NUM4:=2 ELSE NUM4:=1;
  END;
  END;
  {about Hi Hj}
  SHU[1,1]:=0;SHU[2,2]:=0;SHU[3,3]:=0;

```

```

SHU[1,2]:=-SHU[3];SHU[1,3]:=-SHU[2];SHU[2,1]:=-SHU[3];
SHU[2,3]:=-SHU[1];SHU[3,1]:=-SHU[2];SHU[3,2]:=-SHU[1];
SHU[1,1]:=0;SHU[2,2]:=0;SHU[3,3]:=0;
SHU[1,2]:=-SHU[3];SHU[1,3]:=-SHU[2];SHU[2,1]:=-SHU[3];
SHU[2,3]:=-SHU[1];SHU[3,1]:=-SHU[2];SHU[3,2]:=-SHU[1];
  {global coord.}
SHU[1,1]:=0;SHU[2,2]:=0;SHU[3,3]:=0;
SHU[1,2]:=-SHU[3];SHU[1,3]:=-SHU[2];SHU[2,1]:=-SHU[3];
SHU[2,3]:=-SHU[1];SHU[3,1]:=-SHU[2];SHU[3,2]:=-SHU[1];
SHU[1,1]:=0;SHU[2,2]:=0;SHU[3,3]:=0;
SHU[1,2]:=-SHU[3];SHU[1,3]:=-SHU[2];SHU[2,1]:=-SHU[3];
SHU[2,3]:=-SHU[1];SHU[3,1]:=-SHU[2];SHU[3,2]:=-SHU[1];
FOR M:=1 TO 3 DO
  BEGIN
  SHU[M,M]:=0;SHU[M+1,M+1]:=0;
  SHU[1,M+1]:=-SHU[M];SHU[M+1,1]:=-SHU[M];
  SHU[2,M+1]:=-SHU[1,M];
  SHU[3,M+1]:=-SHU[2,M];
  SHU[4,M+1]:=-SHU[3,M];
  SHU[M,M]:=0;SHU[M+1,M+1]:=0;
  SHU[1,M+1]:=-SHU[M];SHU[M+1,1]:=-SHU[M];
  SHU[2,M+1]:=-SHU[1,M];
  SHU[3,M+1]:=-SHU[2,M];
  SHU[4,M+1]:=-SHU[3,M];
  END;
  {prepare D0 and Q0 =OCOS}
IF (III=1 {T=I}) THEN
  BEGIN
  IF (SQR(D[1])+SQR(D[2])+SQR(D[3])>0) THEN
  D0:=SQR(SQR(D[1])+SQR(D[2])+SQR(D[3]));
  {COSQ=UT*Uj/Uj|Uj| SINQ=|Ui-Uj|/|Ui-Uj| as Ui,Uj are unit vectors,
  so COSQ=UT*Uj SINQ=|Ui-Uj| }
  {for |Ui-Uj|}
  SHU[1,1]:=SHU[1,1]*SHU[1,1]+SHU[1,2]*SHU[1,2]+SHU[1,3]*SHU[1,3];
  SHU[2,2]:=SHU[2,1]*SHU[2,1]+SHU[2,2]*SHU[2,2]+SHU[2,3]*SHU[2,3];
  SHU[3,3]:=SHU[3,1]*SHU[3,1]+SHU[3,2]*SHU[3,2]+SHU[3,3]*SHU[3,3];
  {valor espejal}
  IF (SHU[1,1]*SHU[1,1]+SHU[2,2]*SHU[2,2]+SHU[3,3]*SHU[3,3]=0)
  THEN

```

```

IF(SHIG[3]*SHJG[3]>=0) {p136} THEN OCOS:=3.14159*0.5
ELSE OCOS:=3.14159*1.5
ELSE
BEGIN
IF (Abs(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]+SHIG[3]*SHJG[3])>1) THEN
BEGIN
IF(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]+SHIG[3]*SHJG[3]>0) THEN OCOS:=0
ELSE OCOS:=3.1415926
END
ELSE
OCOS:=ARCTAN(SQRT(1-SQR(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]
+SHIG[3]*SHJG[3]))/(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]
+SHIG[3]*SHJG[3])),
{ArcCos(x) = ArcTan (sqrt (1-sqr (x)) /x)}
END,
END,
END,
{ OCOS:=0.5*3.14159;}
{ D0:=2;}

IF(FUNCT=1) THEN {constraint equations}
BEGIN
FOR M:=1 TO 3 DO F[M]:=STS[M,1]+STS[M,2]+STS[M,3];
FOR M:=1 TO 3 DO F[M]:=STD[M,1]+STD[M,2]+STD[M,3];
F[IR+1]:=F[INUM1][K1];
F[IR+2]:=F[INUM2][K1];
F[IR+3]:=F[INUM3];
F[IR+4]:=F[INUM4];
{screw part}
IF (SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]+SHIG[3]*SHJG[3]=0)
THEN
IF (SHIG[3]*SHJG[3]<0) {p136} THEN QCOS:=3.14159*1.5
ELSE QCOS:=3.14159*0.5
ELSE
BEGIN
IF (Abs(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]+SHIG[3]*SHJG[3])>1) THEN
BEGIN
IF(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]+SHIG[3]*SHJG[3]>0) THEN QCOS:=0
ELSE QCOS:=3.1415926
END
ELSE
QCOS:=ARCTAN(SQRT(1-SQR(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]
+SHIG[3]*SHJG[3]))/(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]
+SHIG[3]*SHJG[3]));

```

```

{ArcCos(x) = ArcTan (sqrt (1-sqr (x)) /x)}
IF QCOS<0 THEN QCOS:=ABS(QCOS)+3.14159;
END;

```

```

DS:=SQRT(SQR(D[1])+SQR(D[2])+SQR(D[3]));
F[IR+5]:=(DS-D0)-SCREW[K,19]*(QCOS-OCOS);
END;

```

```

IF(FUNCT=2) THEN {right-hand-side of velocity equations}
FOR M:=1 TO 5 DO
F[IR+M]:=0;

```

```

IF(FUNCT=3) THEN {right-hand-side of acceleration equations}
BEGIN

```

```
{the same as revolute part}
```

```
FOR M:=1 TO 3 DO
```

```
BEGIN
```

```
ASJ[M]:=0; ASJ[M]:=0;
```

```
END;
```

```
FOR M:=1 TO 3 DO
```

```
FOR N:=1 TO 3 DO
```

```
BEGIN
```

```
ASJ[M]:=ASJ[M]+ADJ[M,N]*SQJ[N];
```

```
ASJ[M]:=ASJ[M]+ADJ[M,N]*SQJ[N];
```

```
END;
```

```
{for velocity of Q point in global coord for s"-.
```

```
OMEG[1]:=2*(-Q[.5]*QD[.4]+Q[.4]*QD[.5]-Q[.7]*QD[.6]+Q[.6]*QD[.7]);
```

```
OMEG[2]:=2*(-Q[.6]*QD[.4]+Q[.7]*QD[.5]+Q[.4]*QD[.6]-Q[.5]*QD[.7]);
```

```
OMEG[3]:=2*(-Q[.7]*QD[.4]-Q[.5]*QD[.6]+Q[.5]*QD[.6]+Q[.4]*QD[.7]);
```

```
OMEGT[1,1]:=0;OMEGT[2,2]:=0;OMEGT[3,3]:=0;
```

```
OMEGT[1,2]:=-OMEG[3];OMEGT[2,1]:=-OMEG[3];
```

```
OMEGT[1,3]:=-OMEG[2];OMEGT[3,1]:=-OMEG[2];
```

```
OMEGT[2,3]:=-OMEG[1];OMEGT[3,2]:=-OMEG[1];
```

```
DQ[1]:=QD[1,1]+OMEGT[1,1]*SQG[1]+OMEGT[1,2]*SQG[2]+OMEGT[1,3]*SQG[3];
```

```
DQ[2]:=QD[2,1]+OMEGT[2,1]*SQG[1]+OMEGT[2,2]*SQG[2]+OMEGT[2,3]*SQG[3];
```

```
DQ[3]:=QD[3,1]+OMEGT[3,1]*SQG[1]+OMEGT[3,2]*SQG[2]+OMEGT[3,3]*SQG[3];
```

```
OMEG[1]:=2*(-QJ[.5]*QD[.4]+QJ[.4]*QD[.5]-QJ[.7]*QD[.6]+QJ[.6]*QD[.7]);
```

```
OMEG[2]:=2*(-QJ[.6]*QD[.4]+QJ[.7]*QD[.5]+QJ[.4]*QD[.6]-QJ[.5]*QD[.7]);
```

```
OMEG[3]:=2*(-QJ[.7]*QD[.4]-QJ[.5]*QD[.6]+QJ[.5]*QD[.6]+QJ[.4]*QD[.7]);
```

```

OMEGT[1,1]=0;OMEGT[2,2]=0;OMEGT[3,3]=0;
OMEGT[1,2]=-OMEG[3];OMEGT[2,1]=+OMEG[3];
OMEGT[1,3]=+OMEG[2];OMEGT[3,1]=-OMEG[2];
OMEGT[2,3]=-OMEG[1];OMEGT[3,2]=+OMEG[1];

DQ[1,1]=QD[1,J]+OMEGT[1,1]*SQJG[1]+OMEGT[1,2]*SQJG[2]+OMEGT[1,3]*SQJG[3];
DQ[2,1]=QD[2,J]+OMEGT[2,1]*SQJG[1]+OMEGT[2,2]*SQJG[2]+OMEGT[2,3]*SQJG[3];
DQ[3,1]=QD[3,J]+OMEGT[3,1]*SQJG[1]+OMEGT[3,2]*SQJG[2]+OMEGT[3,3]*SQJG[3];

DQTI[1,1]=0;DQTI[2,2]=0;DQTI[3,3]=0;
DQTI[1,2]=-DQ[3];DQTI[1,3]=+DQ[2];DQTI[2,1]=+DQ[3];
DQTI[2,3]=-DQ[1];DQTI[3,1]=-DQ[2];DQTI[3,2]=+DQ[1];

FOR M:=1 TO 3 DO F[M]=0;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR N:=1 TO 3 DO
F[M]=SQTI[G[M,N]]*(-2)*ASJ[M]-SQTI[G[M,N]]*(-2)*ASJ[M]-
2*DQTI[M,N]*DQJ[M]+F[M];
F[R+1]=F[INUM1][K];
F[R+2]=F[INUM2][K];

{as the cylindrical part}
FOR M:=1 TO 3 DO
BEGIN
ASP[M]=0; ASP[M]=0;
END;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR N:=1 TO 3 DO
BEGIN
ASP[M]=ASP[M]+ADJ[M,N]*SP[N];
ASP[M]=ASP[M]+ADJ[M,N]*SP[N];
END;
FOR M:=1 TO 3 DO F[M]=0;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR N:=1 TO 3 DO
F[M]=SQTI[G[M,N]]*(-2)*ASP[N]+2*ASP[N]-DTI[M,N]]*(-2)*AS[N]
-2*DQTI[M,N]*DD[N]+F[M];

F[R+3]=F[INUM3];
F[R+4]=F[INUM4];

{3 equation}
FOR M:=1 TO 3 DO
OMEGT[1,1]=0; ASJ[M]=0;
END;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR N:=1 TO 3 DO
BEGIN
ASJ[M]=ASJ[M]+ADJ[M,N]*SHJ[N];
ASJ[M]=ASJ[M]+ADJ[M,N]*SHJ[N];
END;
}for velocity of H point in global coord.}

DH[1,1]=QD[1,J]+OMEGT[1,1]*SHIG[1]+OMEGT[1,2]*SHIG[2]+OMEGT[1,3]*SHIG[3];
DH[2,1]=QD[2,J]+OMEGT[2,1]*SHIG[1]+OMEGT[2,2]*SHIG[2]+OMEGT[2,3]*SHIG[3];
DH[3,1]=QD[3,J]+OMEGT[3,1]*SHIG[1]+OMEGT[3,2]*SHIG[2]+OMEGT[3,3]*SHIG[3];

DHJ[1,1]=QD[1,J]+OMEGT[1,1]*SHJG[1]+OMEGT[1,2]*SHJG[2]+OMEGT[1,3]*SHJG[3];
DHJ[2,1]=QD[2,J]+OMEGT[2,1]*SHJG[1]+OMEGT[2,2]*SHJG[2]+OMEGT[2,3]*SHJG[3];
DHJ[3,1]=QD[3,J]+OMEGT[3,1]*SHJG[1]+OMEGT[3,2]*SHJG[2]+OMEGT[3,3]*SHJG[3];

{here for squar of delta* in screw}
FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO
BEGIN
GHLJ[M,N]=0;
GHLJ[M,N]=0;
END;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR MN:=1 TO 4 DO
FOR N:=1 TO 4 DO
BEGIN
GHLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SHLJ[N,MN]+GHLJ[M,MN];
GHLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SHLJ[N,MN]+GHLJ[M,MN];
END;
FOR M:=1 TO 3 DO BEGIN GHDJ[M]=0; GHDJ[M]=0; END;
FOR M:=1 TO 3 DO
FOR MN:=1 TO 4 DO {3X4*4X4}
BEGIN
GHDJ[M]=GHLJ[M,MN]*QD[J,MN]+GHDJ[M];
GHDJ[M]=GHLJ[M,MN]*QD[J,MN]+GHDJ[M];
END;
DELTA2:=0;
FOR M:=1 TO 3 DO DELTA2:=2*SHJG[M]*GHDJ[M]+2*SHIG[M]*GHDJ[M]+DELTA2;

```



```

FOR MN:=1 TO 4 DO
  FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
  FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO GSLJ[M,N]=0;
  FOR M:=1 TO 3 DO
    FOR MN:=1 TO 4 DO
      FOR N:=1 TO 4 DO
        FOR M:=1 TO 4 DO
          FOR MN:=1 TO 3 DO
            FOR N:=1 TO 4 DO
              FOR M:=1 TO 4 DO
                FOR MN:=1 TO 3 DO
                  FOR N:=1 TO 4 DO
                    FQJ[M,N]=2*SQTIG[M,MN]*GSLJ[MN,N]-2*DTIJ[M,MN]*GSLQ[MN,N]+FQJ[M,N];
                    FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO FQJ[M,N]=0;
                    FOR M:=1 TO 3 DO
                      FOR N:=1 TO 4 DO
                        FOR MN:=1 TO 3 DO
                          FQJ[M,N]=2*SQTIG[M,MN]*GSLJ[MN,N]+FQJ[M,N];
                    FOR M:=1 TO 4 DO
                      BEGIN
                        FQJ[R+3,ICJ+M+3]=FQJ[UM3,M];
                        FQJ[R+4,ICJ+M+3]=FQJ[UM4,M];
                        FQJ[R+3,ICJ+M+3]=FQJ[UM3,M];
                        FQJ[R+4,ICJ+M+3]=FQJ[UM4,M];
                        FQJ[R+3,ICJ+M]=-SQTIG[UM3,M];
                        FQJ[R+3,ICJ+M]=+SQTIG[UM3,M];
                        FQJ[R+4,ICJ+M]=-SQTIG[UM4,M];
                        FQJ[R+4,ICJ+M]=+SQTIG[UM4,M];
                        END;
                    {screw part}
                    {FOR M:=1 TO 3 DO
                      BEGIN
                        FQJ[R+5,ICJ+M]=-1;
                        FQJ[R+5,ICJ+M]=1;
                        END;
                    }
FOR MN:=1 TO 4 DO
  BEGIN
    FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO
      FOR MN:=1 TO 4 DO
        FOR N:=1 TO 4 DO
          FOR M:=1 TO 3 DO
            FOR MN:=1 TO 4 DO
              BEGIN
                GSLJ[M,MN]=2*GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
                GSLJ[M,MN]=2*GJ[M,N]*SPLJ[N,MN]+GSLJ[M,MN];
                END;
              FOR M:=1 TO 3 DO FOR N:=1 TO 4 DO
                BEGIN
                  GHLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SHLJ[N,MN]+GHLJ[M,MN];
                  GHLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SHLJ[N,MN]+GHLJ[M,MN];
                  END;
                FOR M:=1 TO 3 DO
                  FOR MN:=1 TO 4 DO
                    FOR N:=1 TO 4 DO
                      BEGIN
                        GHLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SHLJ[N,MN]+GHLJ[M,MN];
                        GHLJ[M,MN]=GJ[M,N]*SHLJ[N,MN]+GHLJ[M,MN];
                        END;
                      {when COSQ>1, Q=90 or 270 then SINQ=0}
                      { IF (Abs(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]+SHIG[3]*SHJG[3])>1) THEN SINQ:=0
                        ELSE
                          SINQ:=SQRT(1-SQR(SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]+SHIG[3]*SHJG[3]));
                        }
                      FOR N:=1 TO 4 DO
                        BEGIN
                          HGLJ[N]=0;
                          HGLJ[N]=0;
                          END;
                      FOR M:=1 TO 4 DO
                        FOR N:=1 TO 3 DO
                          BEGIN
                            HGLJ[M]=SHIG[N]*GHLJ[N,M]+HGLJ[M];
                            HGLJ[M]=SHJG[N]*GHLJ[N,M]+HGLJ[M];
                            END;
                          COSQ:={COSQ+SHIG[1]*SHJG[1]+SHIG[2]*SHJG[2]+SHIG[3]*SHJG[3]};

```





```

BEGIN
I:=ISIMP2[K,1]; J:=ISIMP2[K,2]; MN:=ISIMP2[K,3];
IF (FNCT=1) THEN {constraint equations}
BEGIN
IF (MN<=3) THEN F[IR+1]:=Q[I,MN]-Q[J,MN]-SIMP2[K];
IF (MN>3) THEN
BEGIN
F[IR+1]:=Q[I,MN+1]-Q[J,MN+1]-(SIMP2[K]);
END;
IF (FNCT=2) or (FNCT=3) THEN {right-hand-side of velocity and acceleration equations}
BEGIN
F[IR+1]:=0;
END;
IF (JACOB>0) THEN {jacobian matrix nonzero entries}
BEGIN
ICI:=7*(I-1); ICJ:=7*(J-1);
IF (MN<=3) THEN
BEGIN
FQ[IR+1,ICI+MN]=1;
FQ[IR+1,ICJ+MN]=-1;
END;
IF (MN>3) THEN
BEGIN
FQ[IR+1,ICI+MN+1]=1;
FQ[IR+1,ICI+4]=1; }
FQ[IR+1,ICJ+MN+1]=-1;
FQ[IR+1,ICJ+4]=1; }
END;
IR:=IR+1;
END;
IF (JACOB<=0) THEN
IR:=IR+1;
END;
END;
END;
}-----12-----}
PROCEDURE DO_DRIVE;
BEGIN
FOR K:=1 TO NDRIVE DO
129

```

```

BEGIN
I:=IDRIVE[K,1]; J:=IDRIVE[K,2];
G[1,1]:=Q[I,5]; G[1,2]:=+Q[I,4]; G[1,3]:=Q[I,7]; G[1,4]:=+Q[I,6];
G[2,1]:=Q[I,6]; G[2,2]:=+Q[I,7]; G[2,3]:=+Q[I,4]; G[2,4]:=Q[I,5];
G[3,1]:=Q[I,7]; G[3,2]:=Q[I,6]; G[3,3]:=+Q[I,5]; G[3,4]:=+Q[I,4];
IF (FNCT=1) THEN {constraints equations}
BEGIN
IF (J<=3) THEN
F[IR+1]:=Q[I,J]-0.5*DRIVE[K,3]*T-DRIVE[K,2]*T-DRIVE[K,1];
IF (J>3) THEN
BEGIN
F[IR+1]:=Q[I,J+1]-SIN((0.5*DRIVE[K,3]*T+DRIVE[K,2]*T+DRIVE[K,1])/2);
F[IR+2]:=Q[I,4]-COS((0.5*DRIVE[K,3]*T+DRIVE[K,2]*T+DRIVE[K,1])/2);
END;
END;
IF (FNCT=2) THEN {right-hand-side of velocity equations}
BEGIN
IF (J<=3) THEN
F[IR+1]:=DRIVE[K,3]*T+DRIVE[K,2];
IF (J>3) THEN
{ F[IR+1]:=DRIVE[K,3]*T+DRIVE[K,2]};
BEGIN
F[IR+1]:=Q[I,4]*0.5*(DRIVE[K,3]*T+DRIVE[K,2]);
F[IR+2]:=Q[I,J+1]*0.5*(DRIVE[K,3]*T+DRIVE[K,2]);
END;
END;
IF (FNCT=3) THEN {right-hand-side of acceleration equations}
BEGIN
IF (J<=3) THEN F[IR+1]:=DRIVE[K,3];
IF (J>3) THEN
BEGIN
F[IR+1]:=+0.5*(DRIVE[K,3]*T+DRIVE[K,2])*QD[I,4]+Q[I,4]*DRIVE[K,3];
F[IR+2]:=0.5*((DRIVE[K,3]*T+DRIVE[K,2])*QD[I,J+1]+Q[I,J+1]*DRIVE[K,3]);
END;
END;
IF (JACOB>0) THEN {jacobian matrix nonzero entries}
BEGIN
ICI:=7*(I-1);
IF (J<=3) THEN FQ[IR+1,ICI+J]=1;

```

```

IF (I>3) THEN
  BEGIN
    FQ[IR+1,ICH+4]=2*G[J-3,1];
    FQ[IR+1,IC+5]=2*G[J-3,2];
    FQ[IR+1,ICH+6]=2*G[J-3,3];
    FQ[IR+1,ICH+7]=2*G[J-3,4];
    FQ[IR+1,ICH+J+1]=1;
    FQ[IR+2,ICH+4]=1;
  END;
IF (I>3) THEN IR=IR+2 ELSE
  IR=IR+1;
END;
IF (JACOB<=0) THEN
  IF (I>3) THEN IR=IR+2 ELSE
    IR=IR+1;
  END;
END;
{-----13-----}
PROCEDURE DO_GL;
BEGIN
  G[I,1]=Q[I,5]; G[I,2]=+Q[I,4]; G[I,3]=Q[I,7]; G[I,4]=+Q[I,6];
  G[I,5]=Q[I,6]; G[I,6]=+Q[I,7]; G[I,7]=+Q[I,4]; G[I,8]=Q[I,5];
  G[I,9]=Q[I,7]; G[I,10]=Q[I,6]; G[I,11]=+Q[I,5]; G[I,12]=+Q[I,4];
  L[I,1]=Q[I,5]; L[I,2]=+Q[I,4]; L[I,3]=+Q[I,7]; L[I,4]=Q[I,6];
  L[I,5]=Q[I,6]; L[I,6]=Q[I,7]; L[I,7]=+Q[I,4]; L[I,8]=+Q[I,5];
  L[I,9]=Q[I,7]; L[I,10]=+Q[I,6]; L[I,11]=Q[I,5]; L[I,12]=+Q[I,4];
  G[J,1]=Q[J,5]; G[J,2]=+Q[J,4]; G[J,3]=Q[J,7]; G[J,4]=+Q[J,6];
  G[J,5]=Q[J,6]; G[J,6]=+Q[J,7]; G[J,7]=+Q[J,4]; G[J,8]=Q[J,5];
  G[J,9]=Q[J,7]; G[J,10]=Q[J,6]; G[J,11]=+Q[J,5]; G[J,12]=+Q[J,4];
  L[J,1]=Q[J,5]; L[J,2]=+Q[J,4]; L[J,3]=Q[J,7]; L[J,4]=+Q[J,6];
  L[J,5]=Q[J,6]; L[J,6]=+Q[J,7]; L[J,7]=+Q[J,4]; L[J,8]=+Q[J,5];
  L[J,9]=Q[J,7]; L[J,10]=+Q[J,6]; L[J,11]=Q[J,5]; L[J,12]=+Q[J,4];
  GDI[1,1]=QDI[1,5]; GDI[1,2]=QDI[1,4]; GDI[1,3]=QDI[1,7]; GDI[1,4]=QDI[1,6];
  GDI[2,1]=QDI[1,6]; GDI[2,2]=QDI[1,7]; GDI[2,3]=QDI[1,4]; GDI[2,4]=QDI[1,5];
  GDI[3,1]=QDI[1,7]; GDI[3,2]=QDI[1,6]; GDI[3,3]=QDI[1,5]; GDI[3,4]=QDI[1,4];
  GDI[J,1]=QDI[J,5]; GDI[J,2]=QDI[J,4]; GDI[J,3]=QDI[J,7]; GDI[J,4]=QDI[J,6];
  GDI[J,5]=QDI[J,6]; GDI[J,6]=+QDI[J,7]; GDI[J,7]=QDI[J,4]; GDI[J,8]=QDI[J,5];

```

```

GDJ[3,1]=QDJ[3,7]; GDJ[3,2]=QDJ[3,6]; GDJ[3,3]=QDJ[3,5]; GDJ[3,4]=QDJ[3,4];

```

```

LDJ[1,1]=QDI[1,5]; LDJ[1,2]=QDI[1,4]; LDJ[1,3]=QDI[1,7]; LDJ[1,4]=QDI[1,6];
LDJ[2,1]=QDI[1,6]; LDJ[2,2]=QDI[1,7]; LDJ[2,3]=QDI[1,4]; LDJ[2,4]=QDI[1,5];
LDJ[3,1]=QDI[1,7]; LDJ[3,2]=QDI[1,6]; LDJ[3,3]=QDI[1,5]; LDJ[3,4]=QDI[1,4];

```

```

LDJ[J,1]=QDI[J,5]; LDJ[J,2]=QDI[J,4]; LDJ[J,3]=QDI[J,7]; LDJ[J,4]=QDI[J,6];
LDJ[J,5]=QDI[J,6]; LDJ[J,6]=QDI[J,7]; LDJ[J,7]=QDI[J,4]; LDJ[J,8]=QDI[J,5];
LDJ[J,9]=QDI[J,7]; LDJ[J,10]=QDI[J,6]; LDJ[J,11]=QDI[J,5]; LDJ[J,12]=QDI[J,4];

```

```

FOR M:=1 TO 3 DO

```

```

  FOR N:=1 TO 3 DO

```

```

    BEGIN

```

```

      AJ[M,N]=0;

```

```

      ADJ[M,N]=0;

```

```

      ADJ[M,N]=0;

```

```

      ADJ[M,N]=0;

```

```

    END;

```

```

FOR M:=1 TO 3 DO

```

```

  FOR N:=1 TO 3 DO

```

```

    FOR MN:=1 TO 4 DO

```

```

      BEGIN

```

```

        AJ[M,N]=AJ[M,N]+GJ[M,MN]*LJ[N,MN];

```

```

        AJ[M,N]=AJ[M,N]+GJ[M,MN]*LJ[N,MN];

```

```

        ADJ[M,N]=ADJ[M,N]+GDJ[M,MN]*LDJ[N,MN];

```

```

        ADJ[M,N]=ADJ[M,N]+GDJ[M,MN]*LDJ[N,MN];

```

```

      END;

```

```

    END;

```

```

  END;

```

Appendix B

```
1 01000000600
0 0010001000
1 10120130140150160
0 3 1
```

{\*\*\*This input data is just for testing ONE STATIC BODY\*\*\*}

{--The first line of data is for the YOUNG\_0 to read--}  
It has 1 body, 0 driver, 1 point of interest, 0 of any joints,  
and 6 simple constraints, 0 distance constraint, 0 grounded body.

{--The second and third lines is for YOUNG\_1 to read--}  
IN\_BODY:(0,0,0)initial local coordinates  
IN\_POINT:1 is body number,(0,0,0) is relative coordinates of the point.  
IN\_SIMPLE:1,1,1-->body No1, direction X, value of constraint 0.  
1,2,0-->body No1, direction Y, value of constraint 0.  
1,3,0-->body No1, direction Z, value of constraint 0.  
1,4,0-->body No1, direction ALPH, value of constraint 0.  
1,5,0-->body No1, direction BETA, value of constraint 0.  
1,6,0-->body No1, direction DELT, value of constraint 0.

{--The forth line is also for YOUNG\_0--}  
start time,final time,and increment => T1,Te,dT==0,3,1

{\*\*\*-----end of input-----\*\*\*}

INPUT1-1-1 & OUTPUT1-1-1

```
ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE:
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUND
1 0 1 0 0 0 0 0 6 0 0
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 1
ENTER BODY No
1
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
0.00 0.00 0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1
ENTER BODY No:
1
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)
1
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2
ENTER BODY No:
1
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)
2
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 3
ENTER BODY No:
1
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)
3
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 4
ENTER BODY No:
```

Appendix B

1 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA (axis is X), BETA (axis is Y), DELTA (axis is Z)  
 4  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 5  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA (axis is X), BETA (axis is Y), DELTA (axis is Z)  
 5  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 6  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA (axis is X), BETA (axis is Y), DELTA (axis is Z)  
 6  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 \*-----\*  
 ENTER STARTING TIME: T<sub>i</sub>; FINAL TIME: T<sub>f</sub>; AND dT  
 0.00 3.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000  
 -----  
 POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00  
 ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

INPUT1-1-1 & OUTPUT1-1-1

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000  
 \*\*\*\*\*  
 TIME= 1.000  
 -----  
 POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000  
 \*\*\*\*\*  
 TIME= 2.000  
 -----  
 POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 VELOCITY

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000



Appendix B

101000000600  
 11110001222  
 111121131140150160  
 031

{\*\*This input data is just for testing ONE STATIC BODY \*\*}  
 {..the global coord and local coord are different..}  
 {--The first line of datas is for the YOUNG\_0 to read--}  
 It has 1 body, 0 driver, 1 point of interest, 0 of any joints,  
 and 6 simple constraints, 0 grounded body.  
 {--The second and third lines is for YOUNG\_1 to read--}  
 IN BOBY:(1,1,1)inicial local coordinates  
 IN\_POINT:1 is body number,(2,2,2) is relative coordinates of the point.  
 IN\_SIMPLe:1,1,1-->body No1, direction X, value of constraint 0.  
 1,2,1-->body No1, direction Y, value of constraint 0.  
 1,3,1-->body No1, direction Z, value of constraint 0.  
 1,4,0-->body No1, direction ALPH, value of constraint 0.  
 1,5,0-->body No1, direction BETA, value of constraint 0.  
 1,6,0-->body No1, direction DELT, value of constraint 0.  
 {--The fourth line is also for YOUNG\_0--}  
 start time,final time,and increment => Ti,Te,dT==0,3,1

{\*\*\*-----end-----\*\*\*}

INPUT1-2-1 & OUTPUT1-2-1

ENTER NUMBER OF  
 body : NBODY  
 driver: NDRIVE  
 points of interest: NPOINT  
 spherical joints: NSPHER  
 universal joints: NUNIVE  
 revolute joints: NREVOL  
 cylindrical joints: NCYLN  
 translational joints: NTRANS  
 screw joints: NSCREW  
 simplified constraint: NSIMPL  
 distance constraint: NSIMP2  
 grounded body: NGROUN  
 1 0 1 0 0 0 0 0 6 0 0  
 FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X, Y, Z & E0 E1, E2, E3  
 1.00 1.00 1.00 1.00 0.00 0.00 0.00  
 FOR POINT OF INTEREST No 1  
 ENTER BODY No  
 1  
 ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT  
 2.00 2.00 2.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 1  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 1.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 2  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 1.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 3  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 3  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 1.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 4  
 ENTER BODY No:

Appendix B

INPUT1-2-1 & OUTPUT1-2-1

```

1 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)
4 ENTER VALUES OF CONSTRAINT
  0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 5
  ENTER BODY No:
1
5 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)
  ENTER VALUES OF CONSTRAINT
  0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 6
  ENTER BODY No:
1
6 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)
  ENTER VALUES OF CONSTRAINT
  0.00
  *-----*
  ENTER STARTING TIME: T; FINAL TIME: Te; AND dT
  0.00      3.00      1.00

```

-- KINEMATIC ANALYSIS --

```

TIME= 0.000
-----
POSITION
BODY  X   Y   Z   e0  e1  e2  e3
1  1.000  1.000  1.000  1.000  0.000  0.000  0.000

VELOCITY
BODY  dX  dY  dZ  de0  de1  de2  de3  w-x  w-y  w-z
1  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.00  0.00  0.000

ACCELERATION
BODY  ddX  ddY  ddZ  dde0  dde1  dde2  dde3  dw-x  dw-y  dw-z
1  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000

```

```

POINTS OF INTEREST
No  X   Y   Z   dX  dY  dZ  ddX  ddY  ddZ
1  3.0000  3.0000  3.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000

```

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

```

-----
POSITION
BODY  X   Y   Z   e0  e1  e2  e3
1  1.000  1.000  1.000  1.000  0.000  0.000  0.000

VELOCITY
BODY  dX  dY  dZ  de0  de1  de2  de3  w-x  w-y  w-z
1  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.00  0.00  0.000

```

ACCELERATION

```

BODY  ddX  ddY  ddZ  dde0  dde1  dde2  dde3  dw-x  dw-y  dw-z
1  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000

```

POINTS OF INTEREST

```

No  X   Y   Z   dX  dY  dZ  ddX  ddY  ddZ
1  3.0000  3.0000  3.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000

```

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

```

-----
POSITION
BODY  X   Y   Z   e0  e1  e2  e3
1  1.000  1.000  1.000  1.000  0.000  0.000  0.000

VELOCITY

```

VELOCITY



Appendix B

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 ddw-x ddw-y ddw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ de0 de1 de2 de3 ddX ddY ddZ  
 1 3.0000 3.0000 3.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

-----  
 TIME= 3.000

-----  
 POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 1.000 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 ddw-x ddw-y ddw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ de0 de1 de2 de3 ddX ddY ddZ  
 1 3.0000 3.0000 3.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

11100000500  
 11100012110  
 1222  
 11131140150160  
 031

{\*\*\*This input data is just for testing ONE MOVING BODY\*\*\*}

{--The first line of datas is for the YOUNG 0 to read--}  
 It has 1 body, 1 driver, 1 point of interest, 0 of any joints,  
 and 5 simple constraints, 0 grounded body.

{--The second ,third and fourth lines is for YOUNG\_1 to read--}  
 IN\_BODY:(1,1,1)inicial local coordinates  
 IN\_DRIVE: 1,2,1,0-->body No1, direction Y, position 1, velocity 1,  
 acceleration 0.

IN\_POINT:1 is body number,(2,2,2) is relative coordinates of the point.  
 IN\_SIMPLE:{1,1,1-->body No1, direction X, value of constraint 0.}  
 1,1,1-->body No1, direction X, value of constraint 1.  
 1,3,1-->body No1, direction Z, value of constraint 1.  
 1,4,0-->body No1, direction ALPH, value of constraint 0.  
 1,5,0-->body No1, direction BETA, value of constraint 0.  
 1,6,0-->body No1, direction DELT, value of constraint 0.

{--The forth line is also for YOUNG\_0--}  
 start time,final time,and increment => Ti,Te,dT==0,3,1

{\*\*\*-----end-----\*\*\*}

INPUT1-3-1 & OUTPUT1-3-1

ENTER NUMBER OF  
 body :NBODY  
 driver: NDRIVE  
 points of interest: NPOINT  
 spherical joints: NSPHER  
 universal joints: NUNIVE  
 revolute joints: NREVOL  
 cylindrical joints: NCYLIN  
 translational joints: NTRANS  
 screw joints: NSCREW  
 simplified constraint: NSIMPL  
 distance constraint: NSIMP2  
 grounded body: NGROUND  
 1 1 1 0 0 0 0 0 5 0 0  
 FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X, Y, Z & E0 E1, E2, E3  
 1.00 1.00 1.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00  
 FOR DRIVER No 1  
 ENTER BODY No  
 1  
 ENTER DRIVER CONSTRAINT  
 2  
 NUMBER 1-6 FOR X, Y, Z, ALPHA, BETA, DELTA  
 ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION  
 1.00 1.00 0.00  
 FOR POINT OF INTEREST No 1  
 ENTER BODY No  
 1  
 ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT  
 2.00 2.00 2.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 1  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 1.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 3  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 1.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 3

APPENDIX B

ENTER BODY No:

1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH (axis is X), BETA (axis is Y), DELT (axis is Z)  
 4  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 4  
 ENTER BODY No:

1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH (axis is X), BETA (axis is Y), DELT (axis is Z)  
 5  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00

FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 5  
 ENTER BODY No:

1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH (axis is X), BETA (axis is Y), DELT (axis is Z)  
 6  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00

-----\*-----\*-----  
 ENTER STARTING TIME: T<sub>i</sub>; FINAL TIME: T<sub>f</sub>; AND dT  
 0.00      3.00      1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

-----  
 TIME= 0.000

-----  
 POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 1.000 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

INPUT1-3-1 & OUTPUT1-3-1

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 3.0000 3.0000 3.0000 0.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

-----  
 TIME= 1.000

-----  
 POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 1.000 2.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 3.0000 4.0000 3.0000 0.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

-----  
 TIME= 2.000

-----  
 POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 1.000 3.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

APPENDIX B

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 3.0000 5.0000 3.0000 0.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

-----  
 TIME= 3.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 1.000 4.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 3.0000 6.0000 3.0000 0.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

111000000500  
 111100011110  
 1222  
 121131140150160  
 031

{\*\*\*This input data is just for testing ONE MOVING BODY\*\*\*}

{--The first line of data is for the YOUNG\_0 to read--}  
 It has 1 body, 1 driver, 1 point of interest, 0 of any joints,  
 and 5 simple constraints, 0 grounded body.

{--The second, third and fourth lines is for YOUNG\_1 to read--}  
 IN\_BODY:(1,1,1)initial local coordinates  
 IN\_DRIVE: 1,1,1,0->body No1, direction x, position 1, velocity 1,  
 acceleration 0.

IN\_POINT: 1 is body number,(2,2,2) is relative coordinates of the point.  
 IN\_SIMPLE:{1,1,1->body No1, direction X, value of constraint 0}  
 1,1,1->body No1, direction X, value of constraint 1.  
 1,3,1->body No1, direction Z, value of constraint 1.  
 1,4,0->body No1, direction ALPH, value of constraint 0.  
 1,5,0->body No1, direction BETA, value of constraint 0.  
 1,6,0->body No1, direction DELT, value of constraint 0.

{--The forth line is also for YOUNG\_0--}  
 start time,final time,and increment => Ti,Te,dT==0,3,1

{\*\*\*-----end-----\*\*\*}

INPUT1-3-2 & OUTPUT1-3-2

ENTER NUMBER OF  
 body : NBODY  
 driver: NDRIVE  
 points of interest: NPOINT  
 spherical joints: NSPHER  
 universal joints: NUNIVE  
 revolute joints: NREVOL  
 cylindrical joints: NCYLIN  
 translational joints: NTRANS  
 screw joints: NSCREW  
 simplified constraint: NSIMPL  
 distance constraint: NSIMP2  
 grounded body: NGROUN  
 1 1 1 0 0 0 0 0 5 0 0  
 FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3  
 1.00 1.00 1.00 1.00 0.00 0.00 0.00  
 FOR DRIVER No 1  
 ENTER BODY No  
 1  
 ENTER DRIVER CONSTRAINT  
 NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA  
 1  
 ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION  
 1.00 1.00 0.00  
 FOR POINT OF INTEREST No 1  
 ENTER BODY No  
 1  
 ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT  
 2.00 2.00 2.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)  
 2  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 1.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)  
 3  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 1.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 3

APPENDIX B

INPUT1-3-2 & OUTPUT1-3-2

ENTER BODY No:

1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 4  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 4  
 ENTER BODY No:

1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 5  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT

0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 5  
 ENTER BODY No:

1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 6  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT

0.00  
 \*-----\*

ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: T<sub>f</sub>; AND dT  
 0.00 3.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 1.000 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 3.0000 3.0000 3.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 2.000 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 4.0000 3.0000 3.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 3.000 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000

APPENDIX B

INPUT1-3-2 & OUTPUT1-3-2

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 5.0000 3.0000 3.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION

BODY X Y Z e1 e2 e3  
 1 4.000 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 6.0000 3.0000 3.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

APPENDIX b

```
1211000000400
1111000
1111012110
1222
131140150160
031
```

{\*\*\*This input data is just for testing ONE MOVING BODY\*\*\*}

{--The first line of data is for the YOUNG\_0 to read--}  
It has 1 body, 2 driver, 1 point of interest, 0 of any joints,  
and 4 simple constraints, 0 grounded body.

{--The second, third and fourth lines is for YOUNG\_1 to read--}  
IN\_BODY:(1,1,1)initial focal coordinates  
IN\_DRIVE: 1,1,1,0->body No1, direction x, position 1, velocity 1,  
acceleration 0.

1,2,1,1,0->body No1, direction y, position 1, velocity 1,  
acceleration 0.

IN\_POINT:1 is body number,(2,2,2) is relative coordinates of the point.  
IN\_SIMPLE:

1,3,1->body No1, direction Z, value of constraint 1.  
1,4,0->body No1, direction ALPH, value of constraint 0.  
1,5,0->body No1, direction BETA, value of constraint 0.  
1,6,0->body No1, direction DELT, value of constraint 0.

{--The forth line is also for YOUNG\_0--}  
start time,final time,and increment => Ti,Te,dT==0,3,1

{\*\*\*-----end-----\*\*\*}

```
ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUND
1 2 1 0 0 0 0 0 4 0 0
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
1.00 1.00 1.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 2
ENTER BODY No
1
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
1
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
1.00 1.00 0.00
FOR DRIVER No 2
ENTER BODY No
1
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
2
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
1.00 1.00 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 1
ENTER BODY No
1
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
2.00 2.00 2.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1
ENTER BODY No:
1
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)
3
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
1.00
```



APPENDIX b

INPUT1-3-3 & OUTPUT1-3-3

FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2  
ENTER BODY No:

1

ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA(axis is X), BETA(axis is Y), DELTA(axis is Z)

4

ENTER VALUES OF CONSTRAINT

0.00

FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 3

1

ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA(axis is X), BETA(axis is Y), DELTA(axis is Z)

5

ENTER VALUES OF CONSTRAINT

0.00

FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 4

1

ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA(axis is X), BETA(axis is Y), DELTA(axis is Z)

6

ENTER VALUES OF CONSTRAINT

0.00

ENTER STARTING TIME: T; FINAL TIME: T<sub>e</sub>; AND dT

0.00 3.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
1 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
1 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z

144

1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
1 3.0000 3.0000 3.0000 1.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
1 2.000 2.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
1 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
1 4.0000 4.0000 3.0000 1.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
1 3.000 3.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

APPENDIX b

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 ddw-x ddw-y ddw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 5.0000 5.0000 3.0000 1.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 4.000 4.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 ddw-x ddw-y ddw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 6.0000 6.0000 3.0000 1.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

```

131000000300
1111000
111101211013110
1222
140150160
031

{***This input data is just for testing ONE MOVING BODY***}

{-The first line of datas is for the YOUNG_0 to read-}
It has 1 body, 3 driver, 1 point of interest, 0 of any joints,
and 3 simple constraints, 0 grounded body.

{-The second ,third and fourth lines is for YOUNG_1 to read-}
IN_BODY:(1,1,1)initial local coordinates
IN_DRIVE: 1,1,1,1,0->body No1, direction x, position 1,velocity 1,
acceleration 0.
1,2,1,1,0->body No1, direction y, position 1, velocity 1,
acceleration 0.
1,3,1,1,0->body No1, direction z, position 1,velocity 1,
acceleration 0.

IN_POINT:1 is body number,(2,2,2) is relative coordinates of the point.
IN_SIMPLE:
1,4,0->body No1, direction ALPH, value of constraint 0.
1,5,0->body No1, direction BETA, value of constraint 0.
1,6,0->body No1, direction DELT, value of constraint 0.

{-The forth line is also for YOUNG_0-}
start time,final time,and increment => Ti,Te,dT==0,3,1

{***-----end-----***}

```

INPUT1-3-4 & OUTPUT1-3-4

```

ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUN
1 3 1 0 0 0 0 0 3 0 0
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X, Y, Z & E0 E1, E2, E3
1.00 1.00 1.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 3
ENTER BODY No
1
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X, Y, Z, ALPHA, BETA, DELTA
1
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
1.00 1.00 0.00
FOR DRIVER No 3
ENTER BODY No
1
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X, Y, Z, ALPHA, BETA, DELTA
2
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
1.00 1.00 0.00
FOR DRIVER No 3
ENTER BODY No
1
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X, Y, Z, ALPHA, BETA, DELTA
3
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
1.00 1.00 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 1
ENTER BODY No
1
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT

```

APPENDIX B

INPUT1-3-4 & OUTPUT1-3-4

2.00 2.00 2.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1  
 ENTER BODY No: 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 4  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2  
 ENTER BODY No: 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 5  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 3  
 ENTER BODY No: 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 6  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 \*-----\*  
 ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: Tc; AND dt  
 0.00 3.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000  
 POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 VELOCITY  
 BODY dx dy dz de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00  
 ACCELERATION  
 147

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dx dy dz ddX ddY ddZ  
 1 3.0000 3.0000 3.0000 1.0000 1.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 2.000 2.000 2.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dx dy dz de0 de1 de2 de3 dw-x w-y w-z  
 1 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dx dy dz ddX ddY ddZ  
 1 4.0000 4.0000 4.0000 1.0000 1.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 3.000 3.000 3.000 1.000 0.000 0.000 0.000

APPENDIX B

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 5.000 5.000 5.000 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 4.000 4.000 4.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 6.000 6.000 6.000 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

```
111000000500
0001000
1401.0470
1010
110120130150160
061
```

{\*\*This input data is just for testing ONE ROTATING BODY\*\*}

{-The first line of data is for the YOUNG\_0 to read-}  
It has 1 body, 1 driver, 1 point of interest, 0 of any joints,  
and 5 simple constraints, 0 grounded body.

{-The second, third and fourth lines is for YOUNG\_1 to read-}  
IN\_BODY:(0,0,0)initial local coordinates  
IN\_DRIVE: 1,4,0,1,0->body No1, direction ALPH, angle 0, velocity 1.047,  
acceleration 0.

IN\_POINT:1 is body number,(0,1,0) is relative coordinates of the point.  
IN\_SIMPLE:{1,1,1->body No1, direction X, value of constraint 0.}  
1,1,0->body No1, direction X, value of constraint 0.  
1,2,0->body No1, direction Y, value of constraint 0.  
1,3,0->body No1, direction Z, value of constraint 0.  
{1,4,0->body No1, direction ALPH, value of constraint 0.}  
1,5,0->body No1, direction BETA, value of constraint 0.  
1,6,0->body No1, direction DELT, value of constraint 0.

{-The fourth line is also for YOUNG\_0-}  
start time,final time,and increment => Ti,Te,dT==0,3,1

{\*\*-----end-----\*\*}

INPUT1-4-1 & OUTPUT1-4-1

```
ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUN
1 1 1 0 0 0 0 0 5 0 0
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 1
ENTER BODY No
1
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
4
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
0.00 1.05 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 1
ENTER BODY No
1
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
0.00 1.00 0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1
ENTER BODY No:
1
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)
1
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2
ENTER BODY No:
1
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)
2
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 3
```

APPENDIX B

ENTER BODY No:

1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 3  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 4  
 ENTER BODY No:

1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 5

ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00

FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 5  
 ENTER BODY No:

1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 6

ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00

\*\*\*\*\*  
 ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: T<sub>f</sub>; AND dT  
 0.00 6.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.523 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.274 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

INPUT1-4-1 & OUTPUT1-4-1

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0000 1.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.0470 0.0000 -1.0962 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 0.866 0.500 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.262 0.453 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.237 -0.137 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0000 0.5002 0.8659 0.0000 -0.9066 0.5237 0.0000 -0.5483 -0.9492

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 0.500 0.866 0.000 0.000

APPENDIX B

INPUT1-4-1 & OUTPUT1-4-1

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.453 0.262 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.137 -0.237 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.0000 -0.4997 0.8662 0.0000 -0.9069 -0.5231 0.0000 0.5477 -0.9496

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.523 0.000 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.274 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.0000 -1.0000 0.0006 0.0006 -0.0006 -1.0470 0.0000 1.0962 -0.0006

\*\*\*\*\*

TIME= 4.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.500 0.866 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.453 -0.262 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.137 -0.237 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.0000 -0.5007 -0.8656 0.0000 0.9063 -0.5242 0.0000 0.5489 0.9489

\*\*\*\*\*

TIME= 5.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.866 0.500 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.262 -0.453 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.237 -0.137 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000



APPENDIX B

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.0000	0.4991	-0.8665	0.0000	0.9072	0.5226	0.0000	-0.5472	0.9499

\*\*\*\*\*

TIME= 6.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.001	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.523	0.000	0.000	1.05	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.274	-0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.0000	1.0000	-0.0012	0.0000	0.0012	1.0470	0.0000	-1.0962	0.0013

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

INPUT1-4-2 & OUTPUT1-4-2

```
111000000500
00010001501.0470
1222
110120130140160
061
```

```
{***This input data is just for testing ONE ROTATING BODY***}
```

```
{-The first line of data is for the YOUNG_0 to read-}
It has 1 body, 1 driver, 1 point of interest, 0 of any joints,
and 5 simple constraints, 0 grounded body.
```

```
{-The second ,third and fourth lines is for YOUNG_1 to read-}
```

```
IN_BODY:(0,0,0)initial local coordinates
```

```
IN_DRIVE: 1,5,0,1.047,0->body No1, direction BETA(w-y), angle 0, velocity 1.047,
acceleration 0.
```

```
IN_POINT:1 is body number,(2,2,2) is relative coordinates of the point.
```

```
IN_SIMPLE: {1,1,1->body No1, direction X, value of constraint 0.}
```

```
1,1,0->body No1, direction X, value of constraint 0.
```

```
1,2,0->body No1, direction Y, value of constraint 0.
```

```
1,3,0->body No1, direction Z, value of constraint 0.
```

```
1,4,0->body No1, direction ALPH, value of constraint 0.
```

```
{ 1,5,0->body No1, direction BETA, value of constraint 0.}
```

```
1,6,0->body No1, direction DELT, value of constraint 0.
```

```
{-The forth line is also for YOUNG_0-}
```

```
start time,final time,and increment => T1,Te,dT==0,3,1
```

```
{***-----end-----***}
```

```
ENTER NUMBER OF
```

```
body :NBODY
```

```
driver: NDRIVE
```

```
points of interest: NPOINT
```

```
spherical joints: NSPHER
```

```
universal joints: NUNIVE
```

```
revolute joints: NREVOL
```

```
cylindrical joints: NCYLIN
```

```
translational joints: NTRANS
```

```
screw joints: NSCREW
```

```
simplified constraint: NSIMPL
```

```
distance constraint: NSIMP2
```

```
grounded body: NGROUND
```

```
1 1 1 0 0 0 0 0 5 0 0
```

```
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
```

```
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
```

```
FOR DRIVER No 1
```

```
ENTER BODY No
```

```
1
```

```
ENTER DRIVER CONSTRAINT
```

```
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
```

```
5
```

```
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
```

```
0.00 1.05 0.00
```

```
FOR POINT OF INTEREST No 1
```

```
ENTER BODY No
```

```
1
```

```
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
```

```
2.00 2.00 2.00
```

```
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1
```

```
ENTER BODY No:
```

```
1
```

```
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)
```

```
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
```

```
0.00
```

```
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2
```

```
ENTER BODY No:
```

```
1
```

```
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)
```

```
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
```

```
0.00
```

```
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 3
```

APPENDIX B

INPUT1-4-2 & OUTPUT1-4-2

ENTER BODY No:

1 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA(axis is X), BETA(axis is Y), DELTA(axis is Z)

3 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
0.00

FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 4

ENTER BODY No:

1 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA(axis is X), BETA(axis is Y), DELTA(axis is Z)

4 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
0.00

FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 5

ENTER BODY No:

1 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA(axis is X), BETA(axis is Y), DELTA(axis is Z)

6 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
0.00

-----\*-----\*  
ENTER STARTING TIME: T<sub>i</sub>; FINAL TIME: T<sub>f</sub>; AND dT  
0.00 6.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.523 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.000 0.000 0.000 -0.274 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
1 2.0000 2.0000 2.0000 2.0940 0.0000 -2.0940 -2.1924 0.0000 -2.1924

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
1 0.000 0.000 0.000 0.866 0.000 0.500 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
1 0.000 0.000 0.000 -0.262 0.000 0.453 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.000 0.000 0.000 -0.237 0.000 -0.137 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
1 2.7322 2.0000 -0.7315 -0.7659 0.0000 -2.8606 -2.9951 0.0000 0.8019

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
1 0.000 0.000 0.000 0.500 0.000 0.866 0.000

APPENDIX B

INPUT1-4-2 & OUTPUT1-4-2

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.453 0.000 0.262 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.137 0.000 -0.237 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.7331 2.0000 -2.7318 -2.8602 0.0000 -0.7676 -0.8037 0.0000 2.9946

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.523 0.000 0.000 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.274 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -1.9988 2.0000 -2.0012 -2.0952 0.0000 2.0928 2.1911 0.0000 2.1937

\*\*\*\*\*

TIME= 4.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.500 0.000 0.866 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.453 0.000 -0.262 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.137 0.000 -0.237 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -2.7326 2.0000 0.7299 0.7642 0.0000 2.8611 2.9955 0.0000 -0.8001

\*\*\*\*\*

TIME= 5.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.866 0.000 0.500 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.262 0.000 -0.453 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.237 0.000 -0.137 0.000 0.000 0.000 0.000

APPENDIX B

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -0.7347 2.0000 2.7313 2.8597 0.0000 0.7693 0.8054 0.0000 -2.9941

\*\*\*\*\*

TIME= 6.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -1.000 0.000 0.001 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.523 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.274 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 1.9976 2.0000 2.0024 2.0965 0.0000 -2.0915 -2.1898 0.0000 -2.1950

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

11100000050  
 0001501.0470  
 1111  
 110120130140160  
 031

{\*\*\*This input data is just for testing ONE ROTATING BODY\*\*\*}  
 rotate around Y axis with one interested point  
 {-The first line of datas is for the YOUNG\_0 to read-}  
 It has 1 body, 1 driver, 1 point of interest, 0 of any joints,  
 and 5 simple constraints, 0 grounded body.

{-The second, third and fourth lines is for YOUNG\_1 to read-}  
 IN\_BODY:(0,0,0)inicial local coordinates  
 IN\_DRIVE: 1,5,0,1.047,0->body No1, direction BETA(w-y), angle 0, velocity 1.047,

acceleration 0.

IN\_POINT:1 is body number,(1,1,1) is relative coordinates of the point.

IN\_SIMPLE:{1,1,1->body No1, direction X, value of constraint 0.}

1,1,0->body No1, direction X, value of constraint 0.

1,2,0->body No1, direction Y, value of constraint 0.

1,3,0->body No1, direction Z, value of constraint 0.

1,4,0->body No1, direction ALPH, value of constraint 0.

{ 1,5,0->body No1, direction BETA, value of constraint 0.}

1,6,0->body No1, direction DELT, value of constraint 0.

{-The forth line is also for YOUNG\_0-}  
 start time,final time,and increment => T1,Te,dT==0,3,1

{\*\*\*-----end-----\*\*\*}

INPUT1-4-3 & OUTPUT1-4-3

ENTER NUMBER OF  
 body : NBODY  
 driver: NDRIVE  
 points of interest: NPOINT  
 spherical joints: NSPHER  
 universal joints: NUNIVE  
 revolute joints: NREVOL  
 cylindrical joints: NCYLIN  
 translational joints: NTRANS  
 screw joints: NSCREW  
 simplified constraint: NSIMPL  
 grounded body: NGROUND  
 1 1 1 0 0 0 0 0 5 0  
 FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X, Y, Z (E0=1,E1,E2,E3=0)  
 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00  
 FOR DRIVER No 1  
 ENTER BODY No  
 1  
 ENTER DRIVER CONSTRAINT  
 NUMBER 1-6 FOR X, Y, Z, ALPHA, BETA, DELTA  
 5  
 ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION  
 0.00 1.05 0.00  
 FOR POINT OF INTEREST No 1  
 ENTER BODY No  
 1  
 ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT  
 1.00 1.00 1.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 1  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2  
 ENTER BODY No:  
 1  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPH(axis is X), BETA(axis is Y), DELT(axis is Z)  
 2  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 3  
 ENTER BODY No:

APPENDIX B

INPUT1-4-3 & OUTPUT1-4-3

1 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 3 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 4  
 ENTER BODY No:  
 1  
 4 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 5  
 ENTER BODY No:  
 1  
 6 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 \*-----\*  
 ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: Tc; AND dt  
 0.00 3.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000  
 POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00  
 VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.52 0.00 0.00 1.05 0.00  
 ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 1.00 1.00 1.00 1.05 0.00 -1.05 -1.10 0.00 -1.10

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.00 0.00 0.00 0.87 0.00 0.50 0.00  
 VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.00 0.00 0.00 -0.26 0.00 0.45 0.00 0.00 1.05 0.00

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 1.37 1.00 -0.36 -0.38 0.00 -1.43 -1.50 0.00 0.40

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.00 0.00 0.00 0.50 0.00 0.86 0.00

VELOCITY

APPENDIX B

INPUT1-4-3 & OUTPUT1-4-3

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.00 0.00 0.00 -0.45 0.00 0.26 0.00 0.00 1.05 0.00

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
1 0.37 1.00 -1.36 -1.43 0.00 -0.39 -0.41 0.00 1.50

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
1 0.00 0.00 0.00 0.06 0.00 1.00 0.00

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.00 0.00 0.00 -0.52 0.00 0.03 0.00 0.00 1.05 0.00

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
1 -0.87 1.00 -1.12 -1.17 0.00 0.91 0.95 0.00 1.22

\*\*\*\*\*



APPENDIX B

```

2 1 1 1 0 0 0 0 2 0 1
0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0
2 5 0 1.0470
2 1 0 0
1 2 0 0 0 -1 0 0
2 4 0 2 6 0
1 0 0 0 0 0 0
0 6 1

{***This input data is for testing TWO BODIES with spherical joint***}
rotate around Y axis with one interested point

{--The first line of datas is for the YOUNG_0 to read--}
It has 2 body, 1 driver, 1 point of interest, 1 spherical joint,
0 universal joints, 0 revolute joint, 0 cylindrical joint, 0 translational
joint, 0 screw joint, 2 simplified constraints and 1 grounded body

{--The next lines are for YOUNG_1 to read--}
IN_BODY:(0,0,0) for No1 body's local coordinates
(1,0,0) for No2 body's local coordinates

IN_DRIVE: 2,5,0,1.047,0-->body No 2, direction BETA(w-y), angle 0,
velocity 1.047,acceleration 0.

IN_POINT: 2 is body number,(1,0,0) is relative coordinates of the point.

IN_SPHER: body No:1,2 local coords:(0,0,0),(-1,0,0)

IN_SIMPL: 2,4,0-->body No 2, direction ALPH, value of constraint 0.
2,6,0-->body No 2, direction DELT, value of constraint 0.

IN_GROUN: body No 1 coords and angles 0,0,0,0,0,0

{--The last line is also for YOUNG_0--}
start time,final time,and increment => T1,Te,dT==0,3,1

{***-----end-----***}

```

INPUT2-1-1 & OUTPUT2-1-1

```

ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUN
2 1 1 0 0 0 0 2 0 1
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR BODY 2 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
1.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 1
ENTER BODY No
2
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
5
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
0.00 1.05 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 1
ENTER BODY No
2
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
1.00 0.00 0.00
FOR SPHERICAL JOINT No 1
ENTER BODY No I & J
1 2
ENTER LOCAL COORDINATES OF JOINT POINT
0.00 0.00 0.00-1.00 0.00 0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1
ENTER BODY No:
2
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)
4
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 2

```

APPENDIX B

INPUT2-1-1 & OUTPUT2-1-1

ENTER BODY No:

2

ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPHA(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)

6

ENTER VALUES OF CONSTRAINT

0.00

ENTER BODY No FOR No 1 GROUNDED BODY

1

ENTER BODY 1 COORDINATES

1 1 0.00 1 2 0.00 1 3 0.00 1 4 0.00 1 5 0.00 1 6 0.00

\*\*\*\*\*

ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: T<sub>f</sub>; AND dt

0.00 6.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	-1.047	0.000	0.000	0.523	0.000	0.00	1.05	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-1.096	0.000	0.000	-0.274	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	ddX	ddY	ddZ
1	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-2.0940	-2.1924	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.500	0.000	-0.866	0.866	0.000	0.500	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	-0.907	0.000	-0.524	-0.262	0.000	0.453	0.000	0.00	1.05	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.548	0.000	0.949	-0.237	0.000	-0.137	0.000	0.000	0.000	0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	ddX	ddY	ddZ
1	1.0003	0.0000	-1.7319	-1.8133	0.0000	-1.0474	-1.0966	0.0000	1.8985	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.500	0.000	-0.866	0.500	0.000	0.866	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

APPENDIX B

INPUT2-1-1 & OUTPUT2-1-1

2 -0.907 0.000 0.523 -0.453 0.000 0.262 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.548 0.000 0.950 -0.137 0.000 -0.237 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -0.9993 0.0000 -1.7324 -1.8139 0.0000 1.0463 1.0955 0.0000 1.8991

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 -1.000 0.000 -0.001 0.000 0.000 1.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 -0.001 0.000 1.047 -0.523 0.000 0.000 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 1.096 0.000 0.001 -0.000 0.000 -0.274 0.000 0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -2.0000 0.0000 -0.0012 -0.0012 0.0000 2.0940 2.1924 0.0000 0.0013

\*\*\*\*\*

TIME= 4.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 -0.501 0.000 0.866 -0.500 0.000 0.866 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000  
 2 0.906 0.000 0.524 -0.453 0.000 -0.262 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.549 0.000 -0.949 0.137 0.000 -0.237 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -1.0014 0.0000 1.7313 1.8126 0.0000 1.0484 1.0977 0.0000 -1.8978

\*\*\*\*\*

TIME= 5.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.499 0.000 0.867 -0.866 0.000 0.500 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000  
 2 0.907 0.000 -0.523 -0.262 0.000 -0.453 0.000 0.00 1.05 0.000

APPENDIX B

INPUT2-1-1 & OUTPUT2-1-1

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 -0.547 0.000 -0.950 0.237 0.000 -0.137 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.9983 0.0000 1.7330 1.8145 0.0000 -1.0452 -1.0943 0.0000 -1.8998

\*\*\*\*\*

TIME= 6.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.000	0.001	-1.000	0.000	0.001	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.001	0.000	-1.047	-0.000	0.000	-0.523	0.000	0.00	1.05	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-1.096	0.000	-0.001	0.274	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 2.0000 0.0000 0.0024 0.0025 0.0000 -2.0940 -2.1924 0.0000 -0.0026

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

```

210010000101
00010000101000
2401.0470
12 000 0-10 001 -1-10
260
1 000000
061

{***This input data is for testing TWO BODIES with universal joint***}
rotate around X axis with no interested point

{-The first line of datas is for the YOUNG_0 to read-}
It has 2 body, 1 driver, 0 point of interest, 0 spherical joint,
1 universal joints, 0 revolute joint, 0 cylindrical joint, 0 translational
joint, 0 screw joint, 1 simplified constraints and 1 grounded body

{-The next lines are for YOUNG_1 to read-}
IN_BODY:(0,0,0) for No1 body's local coordinates
(0,1,0) for No2 body's local coordinates

IN_DRIVE: 2,4,0,1.047,0->body No 2, direction ALPHA(w-x), angle 0,
velocity 1.047,acceleration 0.

{ IN_POINT: 2 is body number,(1,0,0) is relative coordinates of the point.}

IN_UNIVE: body No:1,2 local coords:Pj(0,0,0),Pj(0,-1,0),Qi(0,0,1),Qj(-1,-1,0)

IN_SIMPL: 2,6,0->body No 2, direction DELT, value of constraint 0.

IN_GROUN: body No 1 coords and angles 0,0,0,0,0,0

{-The last line is also for YOUNG_0-}
start time,final time,and increment => T1,Te,dT==0,3,1

{***-----end-----***}

```

INPUT2-2-1 & OUTPUT2-2-1

```

ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUND
2 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR BODY 2 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 1.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 1
ENTER BODY No
2
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
4
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
0.00 1.05 0.00
FOR UNIVERSAL JOINT No 1
ENTER BODY No I & J
1 2
ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS
0.00 0.00 0.00 -1.00 0.00 0.00 1.00 -1.00 -1.00 0.00
FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1
ENTER BODY No:
2
ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELT(axis is Z)
6
ENTER VALUES OF CONSTRAINT
0.00
ENTER BODY No FOR No 1 GROUNDED BODY
1
ENTER BODY 1 COORDINATES
1 1 0.00 1 2 0.00 1 3 0.00 1 4 0.00 1 5 0.00 1 6 0.00
-----*-----*
ENTER STARTING TIME: T1; FINAL TIME: Te; AND dT

```

APPENDIX B

0.00 6.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	0.000	1.047	0.000	0.523	0.000	0.000	1.05	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-1.096	0.000	-0.274	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.500	0.866	0.866	0.500	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	-0.907	0.524	-0.262	0.453	0.000	0.000	1.05	0.00	0.000

INPUT2-2-1 & OUTPUT2-2-1

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.548	-0.949	-0.237	-0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.500	0.866	0.500	0.866	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	-0.907	-0.523	-0.453	0.262	0.000	0.000	1.05	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.548	-0.950	-0.137	-0.237	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.000

APPENDIX B

INPUT2-2-1 & OUTPUT2-2-1

TIME= 5.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 -0.001 -1.047 -0.523 0.000 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde4 dde5 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 1.096 -0.001 -0.000 -0.274 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 4.000

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -0.501 -0.866 -0.500 0.866 0.000 0.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.906 -0.524 -0.453 -0.262 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde4 dde5 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 0.549 0.949 0.137 -0.237 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 5.000

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 0.499 -0.867 -0.866 0.500 0.000 0.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.907 0.523 -0.262 -0.453 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde4 dde5 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -0.547 0.950 0.237 -0.137 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 6.000

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 1.000 -0.001 -1.000 0.001 0.000 0.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.001 1.047 -0.000 -0.523 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde4 dde5 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -1.096 0.001 0.274 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

APPENDIX B

```

210001000001
0001000 0101000
2401.0470
12 000 0-10 100 -1-10
1 0000000
0 61

{***This input data is for testing TWO BODIES with revolute joint***}
rotate around X axis with no interested point

{-The first line of data is for the YOUNG_0 to read-}
It has 2 body, 1 driver, 0 point of interest, 0 spherical joint,
0 universal joints, 1 revolute joint, 0 cylindrical joint, 0 translational
joint, 0 screw joint, 0 simplified constraints and 1 grounded body

{-The next lines are for YOUNG_1 to read-}
IN_BODY:(0,0,0,1,0,0,0) for No1 body's local coordinates
(0,1,0,1,0,0,0) for No2 body's local coordinates

IN_DRIVE: 2,4,0,1.047,0->body No 2, direction ALPHA(w-x), angle 0,
velocity 1.047,acceleration 0.

{ IN_POINT: 2 is body number,(1,0,0) is relative coordinates of the point.}
IN_REVOL: body No:1,2 local coords:Pi(0,0,0),Pj(0,-1,0),Qi(1,0,0),Qj(-1,-1,0)
IN_GROUN: body No 1 coords and angles 0,0,0,0,0,0,0

{-The last line is also for YOUNG 0-}
start time,final time,and increment => Ti,Te,dT==0,3,1

{***-----end-----***}

```

INPUT2-3-1 & OUTPUT2-3-1

```

ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUND
2 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1, E2, E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR BODY 2 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1, E2, E3
0.00 1.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 1
ENTER BODY No
2
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
4
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
0.00 1.05 0.00
FOR REVOLUTE JOINT No 1
ENTER BODY No I & J
1 2
ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS Pij,Qi,Qj
0.00 0.00 0.00 -1.00 0.00 1.00 0.00 0.00 -1.00 -1.00 0.00
ENTER BODY No FOR No 1 GROUNDED BODY
1
ENTER BODY 1 COORDINATES
1 1 0.00 1 2 0.00 1 3 0.00 1 4 0.00 1 5 0.00 1 6 0.00
*-----*
ENTER STARTING TIME: Ti, FINAL TIME: Te, AND dT
0.00 6.00 1.00

```

-- KINEMATIC ANALYSIS --



APPENDIX B

INPUT2-3-1 & OUTPUT2-3-1

TIME= 0.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	0.000	1.047	0.000	0.523	0.000	0.000	1.05	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-1.096	0.000	-0.274	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.500	0.866	0.866	0.500	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	-0.907	0.524	-0.262	0.453	0.000	0.000	1.05	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.548	-0.949	-0.237	-0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.500	0.866	0.500	0.866	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	-0.907	-0.523	-0.453	0.262	0.000	0.000	1.05	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.548	-0.950	-0.137	-0.237	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	-0.001	-1.047	-0.523	0.000	0.000	0.000	1.05	0.00	0.000

APPENDIX B

INPUT2-3-1 & OUTPUT2-3-1

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 1.096 -0.001 -0.000 -0.274 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 4.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -0.501 -0.866 -0.500 0.866 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.906 -0.524 -0.524 -0.453 -0.262 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 0.549 0.949 0.137 -0.237 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 5.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 0.499 -0.867 -0.866 0.500 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.907 0.523 -0.262 -0.453 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -0.547 0.950 0.237 -0.137 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 6.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 1.000 -0.001 -1.000 0.001 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.001 1.047 -0.000 -0.523 0.000 0.000 1.05 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -1.096 0.001 0.274 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

210000100101  
 00010000201000  
 22210  
 12 000 000 010 010  
 250  
 1 000000  
 031

{\*\*\*This input data is for testing TWO BODIES with cylindrical joint\*\*\*}  
 moving along Y axis with no interested point

{-The first line of data is for the YOUNG\_0 to read-}  
 It has 2 body, 1 driver, 0 point of interest, 0 spherical joint,  
 0 universal joints, 0 revolute joint, 1 cylindrical joint, 0 translational  
 joint, 0 screw joint, 1 simplified constraints and 1 grounded body

{-The next lines are for YOUNG\_1 to read-}  
 IN\_BODY:(0,0,0) for No1 body's original coordinates  
 (0,2,0) for No2 body's original coordinates

IN\_DRIVE: 2,2,0,1,2->body No 2, direction Y, position 2,  
 velocity 1, acceleration 0.

{ IN\_POINT: 2 is body number,(1,0,0) is relative coordinates of the point. }

IN\_CYLIN: body No:1,2 local coords:Pi(0,0,0),Pj(0,0,0),Qi(0,1,0),Qj(0,1,0)

IN\_SIMPL: 2,5,0->body No 2, direction BETA, value of constraint 0.

IN\_GROUN: body No 1 coords and angles 0,0,0,0,0,0

{-The last line is also for YOUNG\_0-}  
 start time,final time,and increment => Ti,Tf,dT==0,3,1

{\*\*\*-----end-----\*\*\*}

INPUT2-4-1 & OUTPUT2-4-1

ENTER NUMBER OF  
 body : NBODY  
 driver: NDRIVE  
 points of interest: NPOINT  
 spherical joints: NSPHER  
 universal joints: NUNIVE  
 revolute joints: NREVOL  
 cylindrical joints: NCYLIN  
 translational joints: NTRANS  
 screw joints: NSCREW  
 simplified constraint: NSIMPL  
 distance constraint: NSIMP2  
 grounded body: NGROUND  
 2 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1  
 FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3  
 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00  
 FOR BODY 2 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3  
 0.00 2.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00  
 FOR DRIVER No 1  
 ENTER BODY No  
 2  
 ENTER DRIVER CONSTRAINT  
 NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA  
 2  
 ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION  
 2.00 1.00 0.00  
 FOR CYLINDRICAL JOINT No 1  
 ENTER BODY No I & J  
 1 2  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF 4 POINTS: 2 ON AXIS, 2 ON EACH BODY  
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 1.00 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1  
 ENTER BODY No:  
 2  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 5  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00  
 ENTER BODY No FOR No 1 GROUNDED BODY  
 1  
 ENTER BODY 1 COORDINATES  
 1 1 0.00 1 2 0.00 1 3 0.00 1 4 0.00 1 5 0.00 1 6 0.00  
 -----\*-----  
 ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: Tf; AND dT

APPENDIX B

INPUT2-4-1 & OUTPUT2-4-1

0.00 3.00 1.00

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	2.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dvw-x	dvw-y	dvw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TIME= 1.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	3.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dvw-x	dvw-y	dvw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TIME= 2.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	4.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dvw-x	dvw-y	dvw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TIME= 3.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	5.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

APPENDIX B

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
2 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

```

210000010001
00010000201000
22210
12 000 000 010 010 100 001
1 000000
0 3 1
{***This input data is for testing TWO BODIES with translational joint***}
slide along Y axis with no interested point

{-The first line of datas is for the YOUNG_0 to read-}
It has 2 body, 1 driver, 0 point of interest, 0 spherical joint,
0 universal joints, 0 revolute joint, 0 cylindrical joint, 1 translational
joint, 0 screw joint, 0 simplified constraints and 1 grounded body

{-The next lines are for YOUNG_1 to read-}
IN_BODY:(0,0,0) for No1 body's local coordinates
(0,2,0) for No2 body's local coordinates

IN_DRIVE: 2,2,2,1,0->body No 2, direction Y, position 2,
velocity 1 ,acceleration 0.

{ IN_POINT: 2 is body number,(1,0,0) is relative coordinates of the point.}

IN_REVOL: body No:1,2 local coords:Pi(0,0,0),Pj(0,0,0),
Qi(0,1,0),Qj(0,1,0),Hi(1,0,0),Hj(0,0,1)

IN_GROUND: body No 1 coords and angles 0,0,0,0,0,0

{-The last line is also for YOUNG_0-}
start time,final time,and increment => Ti,Te,dT==0,3,1

{***-----end-----***}

```

INPUT2-5-1 & OUTPUT2-5-1

```

ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUND
2 1 0 0 0 0 1 0 0 1
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR BODY 2 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 2.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 1
ENTER BODY No
2
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
2
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
2,00 1.00 0.00
FOR TRANSLATIONAL JOINTS No 1
ENTER BODY No I & J
1 2
ENTER LOCAL COORDINATES OF 6 POINTS,3 ON EACH BODY,
4 ON AXIS, 2 FOR PERPENDICULAR VECTORS:
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
1.00
ENTER BODY No FOR No 1 GROUNDED BODY
1
ENTER BODY 1 COORDINATES
1 1 0.00 1 2 0.00 1 3 0.00 1 4 0.00 1 5 0.00 1 6 0.00
*-----*
ENTER STARTING TIME: Ti, FINAL TIME: Te, AND dT
0.00 3.00 1.00

```

APPENDIX B

INPUT2-5-1 & OUTPUT2-5-1

2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

TIME= 0.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	2.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TIME= 1.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	3.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	4.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TIME= 3.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	5.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

INPUT2-5-1 & OUTPUT2-5-1

2 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z

1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

\*\*\*\*\*



APPENDIX B

```

211000001001
0001000 0201000
2501.0470
2-100
12 000 000 010 010 100 100 0.5
1 000000
0 31
{***This input data is for testing TWO BODIES with screw joint***}
rotate and move along Y axis with no interested point

{-The first line of data is for the YOUNG_0 to read-}
It has 2 body, 1 driver, 0 point of interest, 0 spherical joint,
0 universal joints, 0 revolute joint, 0 cylindrical joint, 0 translational
joint, 1 screw joint, 0 simplified constraints and 1 grounded body

{-The next lines are for YOUNG_1 to read-}
IN_BODY:(0,0,0,1,0,0,0) for No1 body's local coordinates
(0,2,0,1,0,0,0) for No2 body's local coordinates

IN_DRIVE: 2,5,0,1.047,0->body No 2, direction BETA, position 0,
angle velocity 1 ,acceleration 0.

{ IN_POINT: 2 is body number,(1,0,0) is relative coordinates of the point.}

IN_SCREWL: body No:1,2 local coords:Pi(0,0,0),Pj(0,0,0),
Qi(0,1,0),Qj(0,1,0),Hi(1,0,0),Hj(1,0,0,-1), pitch rate a=0.5

IN_GROUND: body No 1 coords and angles 0,0,0,0,0,0,0

{-The last line is also for YOUNG_0-}
start time,final time,and increment => Ti,Te,dT==0,3,1

{***-----end-----***}

```

INPUT2-6-1 & OUTPUT2-6-1

```

ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUND
2 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FOR BODY 2 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 2.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 1
ENTER BODY No
2
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
5
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
0.00 1.05 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 1
ENTER BODY No
2
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
-1.00 0.00 0.00
FOR SCREW JOINT No 1
ENTER BODY No I & J
12
ENTER LOCAL COORDINATES OF 6 POINTS,3 ON EACH BODY, 4 ON AXIS
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00
0.00 0.50
ENTER BODY No FOR No 1 GROUNDED BODY
1
ENTER BODY 1 COORDINATES
1 1 0.00 1 2 0.00 1 3 0.00 1 4 0.00 1 5 0.00 1 6 0.00
*-----*
ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: Te; AND dT
0.00 3.00 1.00

```

APPENDIX B

INPUT2-6-1 & OUTPUT2-6-1

-- KINEMATIC ANALYSIS --

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00  
 2 0.000 1.047 0.000 -0.262 0.000 0.453 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde-x dde-y dde-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 2.392 0.000 -0.237 0.000 -0.137 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -0.5002 2.5235 0.8659 0.9066 1.0470 0.5237 0.5483 2.3920 -0.9492

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 4.095 0.000 0.500 0.000 0.866 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 1.047 0.000 -0.453 0.000 0.262 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde-x dde-y dde-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -3.680 0.000 -0.137 0.000 -0.237 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.4997 4.0946 0.8662 0.9069 1.0470 -0.5231 -0.5477 -3.6802 -0.9496

TIME= 0.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 2.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.523 0.000 0.000 0.000 0.523 0.000 0.00 1.05 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde-x dde-y dde-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 3.015 0.000 -0.274 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -1.0000 2.0000 0.0000 0.0000 0.5235 1.0470 1.0962 3.0146 0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 2.523 0.000 0.866 0.000 0.500 0.000

VELOCITY

APPENDIX B

\*\*\*\*\*

TIME= 3.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	3.571	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	1.047	0.000	-0.523	0.000	0.000	0.000	0.00	1.05	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-930.673	0.000	-0.000	0.000	-0.274	0.000	0.000	0.000	0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	1.0000	3.5711	0.0006	0.0006	1.0470	-1.0470	-1.0962	-930.6725	-0.0006

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

```

4 1 1 1 1 2 0 0 0 0 1
0.00016 0.00005 -0.00027 1 0.00001 -0.00004 0.00005
-3.753 -4.2502 4.2553 0.87944 -0.29098 -0.27410 -0.25910
-5.753 -8.5001 3.2553 0.60687 -0.36245 0.36247 -0.60684
0 0 0 1 0 0 0
1 4 0 3.14159265 0
1 0 0 2
2 3 0 -6.10 0 -3.70
1 2 0 0 2 0 6.10 0.75 -0.66 2 0 6.1 1
1 4 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0
3 4 0 3.70 -4.0 -8.50 1.0 3.70 -4.0 -9.5 0
4 0 0 0 0 0 0
0 2.5 0.1

```

----Four-bar mechanism----

```

first line: 4 bodies, 1 driver, 1 point of interest, 1 spheric joint, 1 unive j,
2 revolut j, 0 cylin j, 0 trans j, 0 screw j, 0 simpl j, 0 distance
constraint, 1 ground body.
line2,3: local coordinates and Euler parameters for 4 bodies
line4: drive body 1, direction alpha, angle velocity=3.14159
line5: interest point body1 (0 0 2)
line6: spheric joint body No 2 3, local coord...
line7: unvers joint body No 1 2, local coord Pi Pj Qi Qj
line8: revolut joint1 body No 1 4, local coord Pi Pj Qi Qj
line9: revolut joint2 body No 3 4, local coord Pi Pj Qi Qj
line10: ground body No 4 coord. and angle 0 0 0 0 0 0
line11: time

```

```

ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUND
4 1 1 1 2 0 0 0 0 1
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 -0.00 1.00 0.00 -0.00 0.00
FOR BODY 2 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
-3.75 -4.25 4.26 0.88 -0.29 -0.27 -0.26
FOR BODY 3 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
-5.75 -8.50 3.26 0.61 -0.36 0.36 -0.61
FOR BODY 4 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 1
ENTER BODY No
1
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
4
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
0.00 3.14 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 1
ENTER BODY No
1
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
0.00 0.00 2.00
FOR SPHERICAL JOINT No 1
ENTER BODY No I & J
2 3
ENTER LOCAL COORDINATES OF JOINT POINT
0.00 -6.10 0.00 0.00 -3.70 0.00
FOR UNIVERSAL JOINT No 1
ENTER BODY No I & J
1 2
ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS

```

APPENDIX B

0.00 0.00 2.00 0.00 6.10 0.00 0.75 -0.66 2.00 0.00 6.10 1.00  
 FOR REVOLUTE JOINT No 1  
 ENTER BODY No I & J  
 1 4  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS Pij, Qi, Qj  
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00  
 FOR REVOLUTE JOINT No 2  
 ENTER BODY No I & J  
 3 4  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS Pij, Qi, Qj  
 0.00 3.70 0.00 -4.00 -8.50 0.00 1.00 3.70 0.00 -4.00 -9.50 0.00  
 ENTER BODY No FOR No 1 GROUNDED BODY  
 4

ENTER BODY 4 COORDINATES  
 4 1 0.00 4.2 0.00 4.3 0.00 4.4 0.00 4.5 0.00 4.6 0.00

ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: Te; AND dt  
 0.00 2.50 0.10

-- KINEMATIC ANALYSIS --

TIME= 0.000

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 -0.000 -0.000  
 2 -3.746 -4.250 4.262 0.919 -0.177 0.067 -0.347  
 3 -5.746 -8.500 3.262 0.607 -0.363 0.363 -0.607  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 -0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.000 1.571 0.000 0.000 3.14 0.00 0.000  
 2 -5.267 -3.142 -2.818 -0.236 0.760 1.320 -0.758 2.13 1.66 -2.124  
 3 -5.267 -0.000 -2.818 0.293 0.490 -0.490 -0.293 0.00 -1.61 -0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.0000 -0.6180 1.9021 -0.0000 -5.9757 -1.9416 2.2928 6.0998 -18.7731

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

1 0.000 0.000 0.000 -2.467 0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000  
 2 0.702 9.731 -20.431 0.025 -10.498 -33.324 7.515 -41.406 -51.289 26.999  
 3 0.702 9.731 -10.562 -0.723 -0.310 -1.499 -0.361 -2.983 -1.179 0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -0.0000 -0.0000 2.0000 0.0000 -6.2832 -0.0000 -0.0000 -0.0000 -19.7392

\*\*\*\*\*

TIME= 0.100

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 0.988 0.156 0.000 -0.000  
 2 -4.189 -4.559 3.934 0.897 -0.124 0.138 -0.402  
 3 -6.189 -8.500 2.983 0.631 -0.319 0.319 -0.631  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.246 1.551 -0.000 -0.000 3.14 0.00 -0.000  
 2 -3.633 -2.988 -3.638 -0.328 0.751 1.247 -0.536 2.12 1.59 -1.742  
 3 -3.633 -0.000 -2.667 0.195 0.384 -0.384 -0.195 -0.00 -1.22 0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.00 0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -2.437 -0.386 0.742 -1.021 -0.000 1.786 -1.786  
 2 -0.920 16.406 -17.713 0.908 -7.906 -21.050 3.506 -29.911 -30.775 14.414  
 3 -2.066 13.356 -8.326 -1.019 -0.032 -1.393 -1.120 -3.165 -1.782 -1.788  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0000 -0.6180 1.9021 -0.0000 -5.9757 -1.9416 2.2928 6.0998 -18.7731

APPENDIX B

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

\*\*\*\*\*

---

TIME= 0.200

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	0.951	0.309	-0.000	0.000
2	-4.476	-4.838	3.559	0.870	-0.077	0.209	-0.440
3	-6.476	-8.500	2.750	0.646	-0.288	0.288	-0.646
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	-0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	-0.713	1.400	-0.000	0.000	3.14	-0.00	0.000
2	-0.453	-1.847	-2.991	-0.384	0.334	0.894	-0.196	1.25	1.39	-0.953
3	-0.453	-0.000	-0.450	0.023	0.056	-0.056	-0.023	0.00	-0.17	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	-2.198	-1.120	0.141	-0.435	-0.000	0.647	-0.647
2	1.279	20.378	-4.546	-1.638	0.478	0.898	-0.114	1.424	1.959	-2.061
3	1.422	12.394	1.255	-1.533	0.256	0.586	-1.384	-0.486	0.512	-4.266
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.0000	-1.6180	1.1756	-0.0000	-3.6932	-5.0832	-0.2862	15.9694	-11.6024

\*\*\*\*\*

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.0000	-1.6180	1.1756	-0.0000	-3.6932	-5.0832	-0.2862	15.9694	-11.6024

\*\*\*\*\*

TIME= 0.400

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	0.809	0.588	0.000	0.000
2	-4.550	-5.201	2.990	0.812	-0.044	0.332	-0.477
3	-6.550	-8.500	2.681	0.650	-0.279	0.279	-0.650
4	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.000	-0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.809	0.588	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-4.550	-5.201	2.990	0.812	-0.044	0.332	-0.477	0.000	0.000	0.000
3	-6.550	-8.500	2.681	0.650	-0.279	0.279	-0.650	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000

\*\*\*\*\*

---

TIME= 0.300

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	0.951	0.309	-0.000	0.000
2	-4.476	-4.838	3.559	0.870	-0.077	0.209	-0.440
3	-6.476	-8.500	2.750	0.646	-0.288	0.288	-0.646
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	-0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	-0.485	1.494	-0.000	0.000	3.14	-0.00	0.000
2	-2.098	-2.542	-3.736	-0.383	0.608	1.097	-0.343	1.82	1.48	-1.357
3	-2.098	0.000	-1.889	0.110	0.246	-0.246	-0.110	-0.00	-0.76	0.000
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.00	-0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	-2.347	-0.762	0.654	-1.283	0.000	2.037	-2.037
2	-3.840	21.011	-14.746	0.015	-3.146	-8.387	0.783	-12.528	-11.706	3.984
3	-4.291	15.210	-6.761	-1.291	0.505	-0.926	-1.703	-2.266	-2.085	-3.626
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	-0.0000	-1.1756	1.6180	-0.0000	-5.0832	-3.6932	0.9012	11.6024	-15.9694

\*\*\*\*\*

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	-0.0000	-1.1756	1.6180	-0.0000	-5.0832	-3.6932	0.9012	11.6024	-15.9694

\*\*\*\*\*

TIME= 0.300

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	0.951	0.309	-0.000	0.000
2	-4.476	-4.838	3.559	0.870	-0.077	0.209	-0.440
3	-6.476	-8.500	2.750	0.646	-0.288	0.288	-0.646
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	-0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.951	0.309	-0.000	0.000	3.14	-0.00	0.000
2	-2.098	-2.542	-3.736	-0.383	0.608	1.097	-0.343	1.82	1.48	-1.357
3	-2.098	0.000	-1.889	0.110	0.246	-0.246	-0.110	-0.00	-0.76	0.000
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.00	-0.00	0.000

APPENDIX B

1 0.000 0.000 0.000 -0.923 1.271 0.000 -0.000 3.14 0.00 -0.000  
 2 1.694 -0.971 -1.377 -0.269 -0.133 0.539 -0.071 0.23 1.18 -0.332  
 3 1.694 0.000 1.611 -0.088 -0.205 0.205 0.088 -0.00 0.63 0.000  
 4 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.00 0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz ddx0 ddx1 ddx2 ddx3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -1.996 -1.450 -0.346 2.184 -0.000 -3.128 3.128  
 2 26.373 12.894 18.082 -0.616 -2.104 1.140 0.748 -1.887 4.336 1.924  
 3 24.365 3.507 21.132 -1.950 -2.086 3.517 0.607 1.110 8.708 -2.543  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.0000 -1.9021 0.6180 -0.0000 -1.9416 -5.9757 4.0162 18.7731 -6.0998

\*\*\*\*\*

TIME= 0.500

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 0.707 0.707 -0.000 0.000  
 2 -4.239 -5.250 2.945 0.803 -0.095 0.349 -0.474  
 3 -6.239 -8.500 2.945 0.633 -0.314 0.314 -0.633  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 -0.000 0.000

VELOCITY

BODY dx dy dz dx0 dx1 dx2 dx3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -1.111 1.111 0.000 -0.000 3.14 0.00 0.000  
 2 4.627 -0.000 0.376 0.264 -1.103 -0.607 0.221 -2.14 -0.07 1.489  
 3 4.627 0.000 3.518 -0.247 -0.498 0.498 0.247 -0.00 1.57 0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.00 0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz ddx0 ddx1 ddx2 ddx3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -1.745 -1.745 -0.000 7.267 -0.000 -10.278 10.278

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

2 57.357 14.011 24.326 24.430-36.634-56.813 10.489-100.734-71.565 76.328  
 3 47.079 4.142 24.326 -2.663 -5.053 3.497 2.551 -2.041 14.108 0.835  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.0000 -2.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 -6.2832 20.5553 19.7392 -0.0000

\*\*\*\*\*

TIME= 0.600

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 0.588 0.809 -0.000 -0.000  
 2 -3.622 -5.201 3.017 -0.845 0.236 -0.236 0.417  
 3 -5.622 -8.500 3.326 0.600 -0.375 0.375 -0.600  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dx dy dz dx0 dx1 dx2 dx3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -1.271 0.923 0.000 0.000 3.14 -0.00 0.000  
 2 7.604 0.971 0.720 -0.286 1.210 0.858 -0.781 -2.26 -0.21 2.535  
 3 7.604 0.000 3.708 -0.428 -0.686 0.686 0.428 -0.00 2.29 0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.00 -0.00 -0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz ddx0 ddx1 ddx2 ddx3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -1.450 -1.996 2.138 13.498 -0.000 -19.327 19.327  
 2 110.745 1.409 23.651 -20.413 37.751 73.679 -28.064 -102.403 -89.479 117.071  
 3 86.392 -7.977 20.601 -4.343 -6.425 6.643 6.004 1.507 23.428 1.829  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 -0.0000 -1.9021 -0.6180 0.0000 1.9416 -5.9757 48.7066 18.7731 6.0998

APPENDIX B

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

\*\*\*\*\*

TIME= 0.700

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	0.454	0.891	0.000	-0.000
2	-2.770	-5.059	3.031	-0.883	0.405	0.055	0.232
3	-4.770	-8.500	3.619	0.550	-0.445	0.445	-0.550
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dx	dy	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	-1.400	0.713	0.000	-0.000	3.14	0.00	0.000	0.000
2	9.091	1.847	-0.607	-0.011	0.634	1.192	-1.434	-1.82	-0.65	3.433
3	9.091	-0.000	1.934	-0.559	-0.690	0.690	0.559	0.00	2.51	-0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddy	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	-1.120	-2.198	5.561	17.114	0.000	-25.449	25.449	25.449
2	95.123	6.677	-5.397	4.826	10.237	58.476	-30.120	-52.426	-74.600	97.185
3	59.576	-1.308	-11.198	-4.537	-2.876	4.029	3.924	0.723	15.119	-1.700
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dx	dy	dZ	ddX	ddy	ddZ
1	0.0000	-1.6180	-1.1756	-0.0000	3.6932	-5.0832	71.0935	15.9694	11.6024

\*\*\*\*\*

TIME= 0.800

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	0.454	0.891	0.000	-0.000

1	0.000	0.000	0.000	0.309	0.951	-0.000	0.000
2	-1.868	-4.838	2.889	-0.870	0.441	0.206	0.071
3	-3.868	-8.500	3.698	0.491	-0.509	0.509	-0.491
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dx	dy	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	-1.494	0.485	-0.000	0.000	3.14	-0.00	0.000	0.000
2	8.689	2.542	-2.157	0.098	-0.031	0.917	-1.268	-0.69	-0.52	3.015
3	8.689	0.000	-0.311	-0.598	-0.577	0.577	0.598	-0.00	2.35	0.000
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.00	-0.00	-0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddy	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	-0.762	-2.347	8.334	16.357	0.000	-25.962	25.962	25.962
2	77.689	-4.815	-13.942	9.968	-1.881	41.216	-20.337	-19.791	-58.183	71.135
3	41.426	-10.617	-21.927	-4.489	0.192	4.385	2.668	2.641	11.401	-6.446
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dx	dy	dZ	ddX	ddy	ddZ
1	-0.0000	-1.1756	-1.6180	0.0000	5.0832	-3.6932	72.5266	11.6024	15.9694

\*\*\*\*\*

TIME= 0.900

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	0.156	0.988	-0.000	0.000
2	-1.068	-4.559	2.630	-0.871	0.420	0.255	-0.022
3	-3.068	-8.500	3.581	0.432	-0.559	0.559	-0.432
4	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.000	-0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dx	dy	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	-1.551	0.246	-0.000	0.000	3.14	-0.00	-0.000



APPENDIX B

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

2 7.197 2.988 -2.843 0.110 -0.344 0.857 -0.993 0.04 -0.70 2.629  
 3 7.197 0.000 -1.873 -0.562 -0.435 0.435 0.562 -0.00 2.01 -0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.00 -0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.386 -2.437 9.281 12.775 0.000 -22.331 22.331  
 2 61.247 -18.093 -14.672 9.252 -5.749 32.602 -14.325 -3.603 49.196 55.679  
 3 33.108 -21.143 -24.059 -4.215 1.586 4.910 2.419 3.609 10.297 -8.823  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0000 -0.6180 -1.9021 0.0000 5.9757 -1.9416 56.2774 6.0998 18.7731

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 -0.000  
 2 -0.437 -4.250 2.354 -0.878 0.381 0.278 -0.080  
 3 -2.437 -8.500 3.354 0.380 -0.596 0.596 -0.380  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -1.571 0.000 0.000 0.000 3.14 -0.00 0.000  
 2 5.415 3.142 -2.523 0.092 -0.482 0.752 -0.687 0.51 -0.77 2.063  
 3 5.415 0.000 -2.523 -0.481 -0.307 0.307 0.481 -0.00 1.61 0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.00 -0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.000 -2.467 8.505 8.505 -0.000 -17.010 17.010  
 2 40.346 -22.081 -11.641 6.736 -5.980 22.437 -8.365 4.298 -35.816 36.197

3 23.336 -22.081 -21.511 -3.328 1.748 4.077 2.040 2.891 8.172 -7.925  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -0.0000 -0.0000 -2.0000 0.0000 6.2832 -0.0000 34.0207 0.0000 19.7392

\*\*\*\*\*

TIME= 1.100

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.156 0.988 -0.000 0.000  
 2 0.017 -3.941 2.151 -0.886 0.336 0.297 -0.115  
 3 -1.983 -8.500 3.102 0.337 -0.622 0.622 -0.337  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -1.551 -0.246 -0.000 0.000 3.14 -0.00 -0.000  
 2 3.699 2.988 -1.435 0.049 -0.498 0.557 -0.393 0.74 -0.64 1.378  
 3 3.699 0.000 -2.406 -0.371 -0.201 0.201 0.371 0.00 1.19 0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.00 -0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.386 -2.437 6.567 4.771 0.000 -11.479 11.479  
 2 13.408 -16.060 -0.819 4.032 -3.536 12.333 -3.311 4.408 -21.217 17.194  
 3 6.038 -13.011 -10.206 -1.360 1.340 1.866 0.665 1.298 2.872 -4.453  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0000 0.6180 -1.9021 0.0000 5.9757 1.9416 14.7400 -6.0998 18.7731

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

2	0.426	-3.441	2.206	-0.898	0.260	0.328	-0.134
3	-1.574	-8.500	2.794	0.293	-0.643	0.643	-0.293
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	-1.400	-0.713	-0.000	-0.000	3.14	0.00	-0.000
2	0.298	1.847	2.283	-0.082	-0.253	0.006	0.076	0.55	0.07	0.011
3	0.298	0.000	-0.258	-0.034	-0.016	0.016	0.034	0.00	0.11	-0.000
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.00	0.00	-0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	1.120	-2.198	0.560	0.182	-0.000	-0.833	0.833
2	-51.980	8.074	50.720	-1.830	6.129	-8.038	5.057	-8.894	11.377	-17.771
3	-51.795	16.059	44.919	6.833	6.635	-4.805	-5.086	-0.199	-18.530	6.391
4	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.0000	1.6180	-1.1756	-0.0000	3.6932	5.0832	-0.3687	-15.9694	11.6024

\*\*\*\*\*

TIME= 1.400

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	-0.588	0.809	-0.000	0.000
2	0.348	-3.299	2.550	-0.904	0.243	0.329	-0.120
3	-1.652	-8.500	2.859	0.302	-0.639	0.639	-0.302
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	-0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	-1.271	-0.923	0.000	0.000	3.14	-0.00	-0.000
2	-1.960	0.971	4.597	-0.200	-0.005	-0.429	0.321	0.21	0.75	-0.835

TIME= 1.200

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	-0.309	0.951	0.000	-0.000
2	0.305	-3.662	2.085	-0.893	0.294	0.315	-0.132
3	-1.695	-8.500	2.894	0.307	-0.637	0.637	-0.307
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	-0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	-1.494	-0.485	0.000	0.000	3.14	-0.00	0.000
2	2.064	2.542	2.203	-0.008	-0.419	0.309	-0.142	0.74	-0.35	0.697
3	2.064	-0.000	-1.644	-0.227	-0.109	0.109	0.227	0.00	0.71	0.000
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.00	-0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	0.762	-2.347	3.885	1.980	0.000	-6.166	6.166
2	-18.469	-4.066	21.378	1.351	0.799	2.546	0.920	-0.970	-6.148	-0.297
3	-19.833	1.735	13.393	2.070	0.860	-1.281	-1.959	-0.117	-6.448	0.605
4	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	-0.0000	1.1756	-1.6180	0.0000	5.0832	3.6932	2.7284	-11.6024	15.9694

\*\*\*\*\*

TIME= 1.300

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	-0.454	0.891	-0.000	0.000

APPENDIX B

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

3 -1.960 0.000 1.610 0.219 0.104 -0.104 -0.219 -0.00 -0.69 0.000  
4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.00 -0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.000 0.000 0.000 1.450 -1.996 -3.479 -0.551 0.000 4.981 -4.981  
2 -69.222 10.452 60.282 -6.346 9.422 -21.735 9.968 -12.611 36.374 -36.341  
3 -72.420 19.838 57.233 10.553 0.511 -7.177 -5.322 2.659 -24.943 11.685  
4 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
1 0.0000 1.9021 -0.6180 0.0000 1.9416 5.9757 6.3959 -18.7731 6.0998  
\*\*\*\*\*

TIME= 1.500

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
1 0.000 0.000 0.000 -0.707 0.707 0.000 -0.000  
2 0.011 -3.250 3.106 -0.914 0.250 0.307 -0.085  
3 -1.989 -8.500 3.106 0.338 -0.621 0.621 -0.338  
4 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.000 0.000 0.000 -1.111 -1.111 -0.000 0.000 3.14 0.00 -0.000  
2 -4.879 0.000 6.300 -0.354 0.231 -1.053 0.680 -0.01 1.76 -1.972  
3 -4.879 0.000 3.158 0.488 0.265 -0.265 -0.488 0.00 -1.57 -0.000  
4 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 0.00 0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.000 0.000 0.000 1.745 -1.745 -7.664 -0.000 0.000 10.838 -10.838  
2 -25.651 -7.760 12.745 -9.746 4.367 -34.632 13.153 -0.915 62.001 -45.702  
3 -36.489 2.109 12.745 7.911 -0.833 -5.029 2.023 8.380 -10.151 13.995  
\*\*\*\*\*

4 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
1 -0.0000 2.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 6.2832 21.6765 -19.7392 0.0000  
\*\*\*\*\*

TIME= 1.600

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
1 0.000 0.000 0.000 -0.809 0.588 -0.000 -0.000  
2 -0.624 -3.299 3.744 -0.929 0.271 0.250 -0.018  
3 -2.624 -8.500 3.435 0.396 -0.586 0.586 -0.396  
4 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.000 0.000 0.000 -0.923 -1.271 0.000 0.000 3.14 -0.00 0.000  
2 -7.669 -0.971 6.060 -0.356 0.217 -1.480 1.056 0.27 2.35 -2.886  
3 -7.669 -0.000 3.072 0.654 0.442 -0.442 -0.654 0.00 -2.23 -0.000  
4 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.00 -0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
1 0.000 0.000 0.000 1.996 -1.450 -9.890 1.566 -0.000 14.161 -14.161  
2 55.153 -28.709 -37.866 -4.820 -5.324 -25.528 7.131 15.162 46.189 -24.592  
3 37.309 -19.323 -34.816 0.918 -3.092 0.544 9.437 10.109 12.860 11.190  
4 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
1 0.0000 1.9021 0.6180 -0.0000 -1.9416 5.9757 35.6875 -18.7731 -6.0998  
\*\*\*\*\*

APPENDIX B

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

3 -4.355 -8.500 3.683 0.523 -0.475 0.475 -0.523  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 -0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.485 -1.494 0.000 0.000 3.14 -0.00 0.000  
 2 -8.471 -2.542 1.030 0.054 -0.257 -0.643 0.950 0.85 0.61 -2.111  
 3 -8.471 0.000 -0.817 0.547 0.602 -0.602 -0.547 0.00 -2.30 -0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.00 -0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 2.347 -0.762 -5.181 2.640 0.000 8.224 -8.224  
 2 47.141 -10.630 -24.212 2.226 1.749 19.933 -7.678 -12.981 -33.257 23.977  
 3 35.654 -4.828 -16.227 -2.322 -1.691 1.852 3.423 1.215 9.171 1.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -0.0000 1.1756 1.6180 -0.0000 -5.0832 3.6932 22.9735 -11.6024 -15.9694

\*\*\*\*\*

TIME= 1.900

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.988 0.156 -0.000 -0.000  
 2 -3.133 -3.941 4.473 -0.935 0.227 0.005 0.273  
 3 -5.133 -8.500 3.522 0.571 -0.416 0.416 -0.571  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.246 -1.551 0.000 0.000 3.14 -0.00 0.000  
 2 -6.990 -2.988 -1.277 0.129 -0.346 -0.341 0.736 0.78 0.11 -1.597  
 3 -6.990 0.000 -2.248 0.413 0.567 -0.567 -0.413 -0.00 -1.98 -0.000

TIME= 1.700

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.891 0.454 -0.000 -0.000  
 2 -1.471 -3.441 4.250 -0.942 0.281 0.167 0.078  
 3 -3.471 -8.500 3.662 0.463 -0.535 0.535 -0.463  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.713 -1.400 0.000 0.000 3.14 -0.00 0.000  
 2 -8.958 -1.847 3.834 -0.130 -0.044 -1.182 1.130 0.72 1.63 -2.759  
 3 -8.958 -0.000 1.293 0.654 0.566 -0.566 -0.654 -0.00 -2.45 0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.00 -0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 2.198 -1.120 -8.592 2.792 0.000 12.776 -12.776  
 2 72.475 -24.684 -36.053 1.934 -4.709 4.557 -3.990 5.732 -7.717 11.355  
 3 54.630 -16.699 -30.252 -2.215 -3.077 2.630 7.606 5.349 15.781 5.469  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0000 1.6180 1.1756 -0.0000 -3.6932 5.0832 35.6909 -15.9694 -11.6024

\*\*\*\*\*

TIME= 1.800

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.951 0.309 0.000 0.000  
 2 -2.355 -3.662 4.492 -0.943 0.266 0.082 0.181

APPENDIX B

4 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.00 -0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 2.437 -0.386 -1.965 1.428 -0.000 3.435 -3.435  
 2 22.416 -0.664 -18.876 0.501 5.444 20.515 -6.126 -21.689 -32.596 20.435  
 3 18.087 2.386 -9.490 -1.647 -0.700 0.690 1.090 -0.475 3.869 -0.628  
 4 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dx dy dz ddx ddy ddz  
 1 0.0000 0.6180 1.9021 -0.0000 -5.9757 1.9416 8.6574 -6.0998 -18.7731

\*\*\*\*\*

TIME= 2.000

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -1.000 0.000 -0.000 0.000  
 2 -3.746 -4.250 4.262 -0.919 0.177 -0.067 0.347  
 3 -5.746 -8.500 3.262 0.607 -0.363 0.363 -0.607  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dx dy dz de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.000 -1.571 0.000 0.000 3.14 -0.00 -0.000  
 2 -5.267 -3.142 -2.818 0.159 -0.362 -0.266 0.555 0.72 0.06 -1.273  
 3 -5.267 0.000 -2.818 0.293 0.490 -0.490 -0.293 -0.00 -1.61 0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.00 -0.00 -0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 2.467 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.000  
 2 12.889 2.462 -13.911 -0.931 6.160 15.799 -4.111 -21.406 -23.425 14.603  
 3 12.889 2.462 -4.041 -0.997 -0.767 0.310 0.723 -0.755 2.556 -0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dx dy dz ddx ddy ddz  
 1 0.0000 0.0000 2.0000 -0.0000 -6.2832 0.0000 0.0000 -0.0000 -19.7392

\*\*\*\*\*

TIME= 2.100

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.988 -0.156 -0.000 -0.000  
 2 -4.189 -4.559 3.934 -0.897 0.124 -0.138 0.402  
 3 -6.189 -8.500 2.983 0.631 -0.319 0.319 -0.631  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dx dy dz de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.246 -1.551 0.000 0.000 3.14 -0.00 -0.000  
 2 -3.633 -2.988 -3.638 0.184 -0.329 -0.306 0.406 0.68 0.23 -1.043  
 3 -3.633 0.000 -2.667 0.195 0.384 -0.384 -0.195 -0.00 -1.22 -0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.00 -0.00 -0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 2.437 0.386 0.742 -1.021 0.000 -1.786 1.786  
 2 16.551 0.438 -3.206 -1.538 5.396 9.256 -2.922 -15.934 -11.960 10.258  
 3 17.698 -2.612 6.181 -0.514 -1.833 0.986 1.502 -0.436 4.844 1.788  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dx dy dz ddx ddy ddz  
 1 0.0000 -0.6180 1.9021 -0.0000 -5.9757 -1.9416 -2.2928 6.0998 -18.7731

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

TIME= 2.200

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	-0.951	-0.309	0.000	0.000
2	-4.476	-4.838	3.559	-0.870	0.077	-0.209	0.440
3	-6.476	-8.500	2.750	0.646	-0.288	0.288	-0.646
4	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.000	0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dx	dy	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.485	-1.494	0.000	0.000	3.14	-0.00	-0.000
2	-2.098	-2.542	-3.736	0.211	-0.245	-0.380	0.280	0.61	0.49	-0.833
3	-2.098	0.000	-1.889	0.110	0.246	-0.246	-0.110	0.00	-0.76	-0.000
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.00	-0.00	-0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddy	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	2.347	0.762	0.654	-1.283	0.000	-2.037	2.037
2	26.161	-3.113	13.077	-1.099	4.169	2.595	-2.415	-8.361	-0.928	7.309
3	26.612	-8.914	21.062	-0.242	-3.444	2.386	2.578	-0.023	9.154	3.626
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dx	dy	dZ	ddX	ddy	ddZ
1	-0.0000	-1.1756	1.6180	-0.0000	-5.0832	-3.6932	-0.9012	11.6024	-15.9694

TIME= 2.300

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	-0.891	-0.454	0.000	-0.000
2	-4.606	-5.059	3.215	-0.840	0.046	-0.276	0.465
3	-6.606	-8.500	2.627	0.653	-0.272	0.272	-0.653

4 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000

VELOCITY

BODY	dx	dy	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.713	-1.400	0.000	0.000	3.14	0.00	0.000
2	-0.453	-1.847	-2.991	0.229	-0.073	-0.422	0.170	0.40	0.75	-0.578
3	-0.453	0.000	-0.450	0.023	0.056	-0.056	-0.023	0.00	-0.17	-0.000
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddy	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	2.198	1.120	0.141	-0.435	0.000	-0.647	0.647
2	33.625	-3.304	27.253	0.205	2.805	-2.644	-2.052	-1.139	7.351	4.565
3	33.482	-11.289	33.054	-0.332	-4.707	3.589	3.135	0.066	12.716	4.266
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dx	dy	dZ	ddX	ddy	ddZ
1	-0.0000	-1.6180	1.1756	0.0000	-3.6932	-5.0832	0.2862	15.9694	-11.6024

TIME= 2.400

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	-0.809	-0.588	-0.000	0.000
2	-4.550	-5.201	2.990	-0.812	0.044	-0.332	0.477
3	-6.550	-8.500	2.681	0.650	-0.279	0.279	-0.650
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dx	dy	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.923	-1.271	0.000	-0.000	3.14	-0.00	0.000
2	1.694	-0.971	-1.377	0.192	0.245	-0.349	0.061	-0.12	0.92	-0.150
3	1.694	0.000	1.611	-0.088	-0.205	0.205	0.088	-0.00	0.63	-0.000
4	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	-0.00	-0.00	0.000

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

IN-4-BAR & OUT-4-BAR

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -0.0000 -2.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0000 -6.2832 -20.5553 19.7392 -0.0000

\*\*\*\*\*

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 1.996 1.450 -0.346 2.184 0.000 3.128 -3.128  
 2 27.314 3.908 22.796 1.112 1.272 -4.074 -1.528 2.738 8.706 1.907  
 3 29.322 -5.478 25.845 -0.762 -3.878 2.926 2.310 -0.375 10.557 2.543  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0000 -1.9021 0.6180 -0.0000 -1.9416 -5.9757 -4.0162 18.7731 -6.0998

\*\*\*\*\*

TIME= 2.500

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 -0.707 -0.707 0.000 0.000  
 2 -4.239 -5.250 2.945 -0.803 0.095 -0.349 0.474  
 3 -6.239 -8.500 2.945 0.633 -0.314 0.314 -0.633  
 4 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 -0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 1.111 -1.111 -0.000 0.000 3.14 0.00 -0.000  
 2 4.627 -0.000 0.376 0.002 0.741 -0.006 -0.148 -1.08 0.74 0.752  
 3 4.627 0.000 3.518 -0.247 -0.498 0.498 0.247 -0.00 1.57 -0.000  
 4 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.00 0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 1.745 1.745 -0.000 7.267 0.000 10.278 -10.278  
 2 -4.049 12.337 -6.733 -3.486 4.307 7.155 -2.707 -11.149 -9.327 12.012  
 3 6.228 2.468 -6.733 -0.725 0.185 -0.051 0.132 -0.203 0.239 -0.835  
 4 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000

APPENDIX B

```

5 1 1 1 0 2 1 1 0 0 1 1
0.00002 0.09982 0.12005 0.72090 0.69306 0.00004 -0.00004
0.09993 0.05183 0.09998 0.88723 -0.21202 0.39833 -0.09569
0.19959 0.00057 -0.00008 1.0 0.0 -0.00012 -0.00025
0.19959 0.00057 -0.00008 1.0 0.0 -0.00012 -0.00025
0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
1 4 1.52 -6.2831852 0
4 0 0 0
1 2 0.008 0 -0.15 0 0
1 5 0 0 0 0.1 0.12 1.0 0 0 2.0 0.1 0.12
2 3 0.15 0 0 0 0 0.15 1.0 0 0 1 -0.507
3 4 0.2 0 0 0.4 0 0 1.3 0 0 1.4 0 0
4 5 0 0 0.2 0 0 1.0 0 1.4 0 0 0 1 0 0.2 0 1
3 4 1 0
5 0 0 0 0 0 0
0 1 0.05

```

-----Five-body mechanism-----

```

first line: 5 bodies, 1 driver, 1 point of interest, 1 spheric joint, 0 unive j,
2 revolut j, 1 cylin j, 1 trans j, 0 screw j, 0 simpl j, 1 distance constr,
1 groun body.
line2-6: local coordenates and Euler parameters for 5 bodies
line7: drive body 1, direction alpha, angle velocity=-3.14159*2
line8: interest point body4 (0 0 0)
line9: spheric joint body No 1 2, local coord.Pi Pj
line10: revolut joint1 body No 1 5, local coord Pi Pj Qi Qj
line11: revolut joint2 body No 2 3, local coord Pi Pj Qi Qj
line12: cylindr joint body No 3 4, local coord Pi Pj Qi Qj
line13: transla joint body No 4 5, local coord Pi Pj Qi Qj Hi Hj
line14: distance constraint body No 3 4, axis X, D=1.0
line15: groun body No 4 coord. and angle 0 0 0 0 0
line16: time

```

IN5BODY & OUT5BODY

```

ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grouned body: NGROUN
5 1 1 1 0 2 1 1 0 0 1 1
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X, Y, Z & E0 E1, E2, E3
0.00 0.10 0.12 0.72 0.69 0.00 -0.00
FOR BODY 2 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X, Y, Z & E0 E1, E2, E3
0.10 0.05 0.10 0.89 -0.21 0.40 -0.10
FOR BODY 3 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X, Y, Z & E0 E1, E2, E3
0.20 0.00 -0.00 1.00 0.00 -0.00 -0.00
FOR BODY 4 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X, Y, Z & E0 E1, E2, E3
0.20 0.00 -0.00 1.00 0.00 -0.00 -0.00
FOR BODY 5 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X, Y, Z & E0 E1, E2, E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 1
ENTER BODY No
1
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X, Y, Z, ALPHA, BETA, DELTA
4
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
1.52 -6.28 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 1
ENTER BODY No
4
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
0.00 0.00 0.00
FOR SPHERICAL JOINT No 1
ENTER BODY No I & J
1 2
ENTER LOCAL COORDINATES OF JOINT POINT
0.00 0.08 0.00 -0.15 0.00 0.00
FOR REVOLUTE JOINT No 1
ENTER BODY No I & J

```



APPENDIX B

INSBODY & OUTSBODY

1 5  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS Pij,Qi,Qj  
 0.00 0.00 0.00 0.10 0.12 1.00 0.00 0.00 2.00 0.10 0.12  
 FOR REVOLUTE JOINT No 2  
 ENTER BODY No I & J  
 2 3  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS Pij,Qi,Qj  
 0.15 0.00 0.00 0.00 0.00 0.15 1.00 0.00 0.00 1.00 -0.51  
 FOR CYLINDRICAL JOINT No 1  
 ENTER BODY No I & J  
 3 4  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF 4 POINTS: 2 ON AXIS, 2 ON EACH BODY  
 0.20 0.00 0.00 0.40 0.00 0.00 1.30 0.00 0.00 1.40 0.00 0.00  
 FOR TRANSLATIONAL JOINTS No 1  
 ENTER BODY No I & J  
 4 5  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF 6 POINTS, 3 ON EACH BODY,  
 4 ON AXIS, 2 FOR PERPENDICULAR VECTORS:  
 0.00 0.00 0.00 0.20 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 1.40 0.00 0.00 1.00 0.00 0.20 0.00  
 1.00  
 FOR DISTANCE CONSTRAINTS No 1  
 ENTER THE TWO BODY No:  
 3 4  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X,Y,Z,ALPH(axis is X),BETA(axis is Y),DELTA(axis is Z)  
 1

ENTER VALUES OF DISTANCE  
 0.00  
 ENTER BODY No FOR No 1 GROUNDED BODY  
 5  
 ENTER BODY 5 COORDINATES  
 5 1 0.00 5 2 0.00 5 3 0.00 5 4 0.00 5 5 0.00 5 6 0.00  
 \*-----\*  
 ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: Te; AND dT  
 0.00 1.00 0.05

-----  
 -- KINEMATIC ANALYSIS --  
 -----  
 TIME= 0.000  
 -----  
 POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 192

1	0.000	0.100	0.120	0.725	0.689	0.000	0.000
2	0.099	0.052	0.100	0.885	-0.217	0.400	-0.098
3	0.198	0.000	0.000	1.000	-0.005	-0.000	-0.000
4	0.198	-0.000	-0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x w-y w-z  
 1 -0.000 0.000 -0.000 2.164 -2.277 -0.000 0.000 -6.28 -0.00 0.000  
 2 -0.119 0.251 -0.013 -0.431 -0.846 0.368 -0.520 -2.03 0.94 -0.488  
 3 -0.238 0.000 0.000 -0.005 -1.014 -0.000 0.000 -2.03 0.00 0.000  
 4 -0.238 0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.00 -0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION  
 BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 -0.000 -0.000 -7.154 -6.799 0.103 -0.285 -0.000 0.542 -0.271  
 2 0.853 -0.117 -1.602 0.695 0.775 -4.638 -1.048 -0.075 -9.371 -0.332  
 3 1.662 -0.073 -0.050 -1.026 0.440 1.541 -2.185 0.869 3.058 -4.387  
 4 1.662 0.009 0.006 0.000 4.558 1.529 -2.193 9.117 3.058 -4.387  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.1980 -0.0000 -0.0000 -0.2380 0.0000 -0.0000 1.6622 0.0087 0.0061

\*\*\*\*\*

TIME= 0.050

1	-0.000	0.100	0.120	0.824	0.567	0.000	0.000
2	0.094	0.064	0.097	0.864	-0.260	0.413	-0.124
3	0.189	0.000	0.000	0.998	-0.057	-0.000	-0.000
4	0.189	-0.000	-0.000	1.000	0.000	-0.000	-0.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

APPENDIX B

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 0.000 0.000 1.781 -2.588 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 -0.067 0.235 -0.090 -0.392 -0.873 0.119 -0.509 -2.10 0.48 -0.318  
 3 -0.135 0.000 0.000 -0.060 -1.050 -0.000 0.000 -2.10 0.00 0.000  
 4 -0.135 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.00 -0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 ddx dw-x ddy dw-y ddz  
 1 0.000 0.000 -0.000 -8.129 -5.597 0.094 -0.171 0.000 0.349 -0.174  
 2 1.201 -0.579 -1.484 1.322 0.421 -5.298 0.292 0.341 -10.202 3.234  
 3 2.370 -0.031 -0.018 -1.063 0.785 1.446 -1.827 1.446 2.679 -3.813  
 4 2.370 0.044 0.031 -0.000 4.204 1.340 -1.901 8.409 2.679 -3.803  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.1886 -0.0000 -0.0000 -0.1348 0.0000 -0.0000 2.3704 0.0435 0.0307

\*\*\*\*\*

TIME= 0.100

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.100 0.120 0.902 0.431 0.000 0.000  
 2 0.092 0.075 0.091 0.846 -0.304 0.412 -0.148  
 3 0.185 -0.000 0.000 0.994 -0.110 0.000 0.000  
 4 0.185 0.000 -0.000 1.000 0.000 0.000 -0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 -0.000 -0.000 1.355 -2.834 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 -0.003 0.196 -0.158 -0.329 -0.898 -0.146 -0.443 -2.13 0.02 -0.018  
 3 -0.007 -0.000 0.000 -0.117 -1.058 -0.000 0.000 -2.13 -0.00 0.000

INSBODY & OUTSBODY

4 -0.007 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.00 0.00 -0.00 -0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 ddx dw-x ddy dw-y ddz  
 1 -0.000 -0.000 -0.000 -8.905 -4.256 0.006 -0.008 0.000 0.019 -0.009  
 2 1.333 -0.991 -1.232 1.543 0.007 -5.331 1.612 0.699 -9.317 6.418  
 3 2.664 0.003 -0.007 -1.026 1.021 1.260 -1.371 1.804 2.203 -3.001  
 4 2.664 0.045 0.033 -0.000 3.421 1.102 -1.484 6.841 2.203 -2.968  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.1850 0.0000 -0.0000 -0.0066 0.0000 0.0000 2.6637 0.0446 0.0331

\*\*\*\*\*

TIME= 0.150

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 -0.000 0.100 0.120 0.959 0.285 0.000 0.000  
 2 0.094 0.084 0.082 0.831 -0.349 0.398 -0.167  
 3 0.188 -0.000 -0.000 0.987 -0.162 -0.000 0.000  
 4 0.188 -0.000 -0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 -0.000 -0.000 0.895 -3.012 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 0.061 0.137 -0.211 -0.263 -0.920 -0.395 -0.328 -2.11 -0.37 0.375  
 3 0.123 -0.000 0.000 -0.171 -1.040 -0.000 -0.000 -2.11 -0.00 -0.000  
 4 0.123 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 ddx dw-x ddy dw-y ddz

APPENDIX B

1 0.000 -0.000 -0.000 -9.461 -2.811 -0.151 0.141 0.000 -0.370 0.185  
 2 1.196 -1.307 -0.867 1.295 -0.137 -4.668 2.652 1.227 -6.895 8.213  
 3 2.420 0.032 -0.010 -0.918 1.259 0.975 -0.890 2.185 1.634 -2.072  
 4 2.420 0.024 0.020 0.000 2.274 0.817 -1.003 4.548 1.634 -2.007  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.1879 -0.0000 -0.0000 0.1229 -0.0000 0.0000 2.4199 0.0242 0.0197

\*\*\*\*\*

TIME= 0.200

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	-0.000	0.100	0.120	0.991	0.131	0.000	0.000
2	0.098	0.089	0.070	0.820	-0.396	0.373	-0.180
3	0.197	-0.000	0.000	0.977	-0.213	0.000	0.000
4	0.197	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	0.412	-3.114	0.000	0.000	-6.28	0.00	0.000
2	0.115	0.065	-0.243	-0.214	-0.926	-0.599	-0.180	-2.04	-0.63	0.793
3	0.229	-0.000	-0.000	-0.217	-0.996	0.000	0.000	-2.04	0.00	0.000
4	0.229	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	-0.000	-0.000	-9.784	-1.296	-0.331	0.224	0.000	-0.714	0.357
2	0.872	-1.493	-0.418	0.841	0.176	-3.549	3.272	2.119	-3.920	8.343
3	1.786	0.062	-0.015	-0.712	1.606	0.596	-0.451	2.833	0.973	-1.135
4	1.786	0.003	0.003	0.000	0.870	0.486	-0.520	1.740	0.973	-1.039
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

IN5BODY & OUT5BODY

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.1969 0.0000 0.0000 0.2294 -0.0000 -0.0000 1.7862 0.0033 0.0031

\*\*\*\*\*

TIME= 0.250

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	-0.000	0.100	0.120	1.000	-0.025	0.000	0.000
2	0.105	0.090	0.058	0.810	-0.441	0.340	-0.185
3	0.210	0.000	0.000	0.965	-0.261	0.000	0.000
4	0.210	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	-0.000	-0.080	-3.141	0.000	0.000	-6.28	0.00	0.000
2	0.149	-0.013	-0.251	-0.184	-0.901	-0.742	-0.016	-1.91	-0.76	1.173
3	0.299	-0.000	0.000	-0.249	-0.920	0.000	0.000	-1.91	0.00	0.000
4	0.299	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	-0.000	0.000	-9.866	0.251	-0.475	0.223	0.000	-0.938	0.469
2	0.497	-1.529	0.077	0.577	0.970	-2.323	3.490	3.590	-1.432	7.257
3	1.028	0.095	-0.007	-0.351	2.181	0.159	-0.099	4.026	0.255	-0.274
4	1.028	-0.002	-0.003	0.000	-0.646	0.127	-0.080	-1.292	0.255	-0.160
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.2102 0.0000 0.0000 0.2987 0.0000 0.0000 1.0284 -0.0016 -0.0026

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

INSBODY & OUTSBODY

TIME= 0.300

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.100	0.120	0.983	-0.181	0.000	0.000
2	0.113	0.087	0.046	0.801	-0.485	0.300	-0.182
3	0.226	0.000	-0.000	0.952	-0.305	0.000	0.000
4	0.226	-0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	-0.000	-0.000	-1.046	-2.962	0.000	0.000	-6.28	0.00	0.000
2	0.162	-0.158	-0.196	-0.110	-0.684	-0.841	0.308	-1.33	-0.72	1.684
3	0.324	0.000	0.000	-0.226	-0.625	0.000	0.000	-1.33	0.00	0.000
4	0.324	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	-9.306	3.287	-0.532	0.066	-0.000	-0.959	0.479
2	-0.127	-1.159	1.020	1.773	4.074	-0.166	3.031	9.836	0.602	3.486
3	-0.273	0.139	0.057	1.264	4.782	-0.591	0.261	9.853	-0.934	0.894
4	-0.273	0.041	0.040	0.000	-3.316	-0.467	0.487	-6.633	-0.934	0.974
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.2425	-0.0000	-0.0000	0.3237	0.0000	0.0000	-0.2730	0.0414	0.0397

TIME= 0.400

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	-0.000	0.100	0.120	0.879	-0.476	0.000	0.000
2	0.129	0.072	0.026	0.791	-0.551	0.217	-0.151
3	0.258	0.000	-0.000	0.931	-0.365	0.000	0.000
4	0.258	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

TIME= 0.300

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.100	0.120	0.983	-0.181	0.000	0.000
2	0.113	0.087	0.046	0.801	-0.485	0.300	-0.182
3	0.226	0.000	-0.000	0.952	-0.305	0.000	0.000
4	0.226	-0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	-0.000	-0.000	0.000	-0.570	-3.089	0.000	0.000	-6.28	0.00	0.000
2	0.164	-0.090	-0.235	-0.159	-0.827	-0.821	0.151	-1.69	-0.77	1.476
3	0.329	-0.000	0.000	-0.257	-0.804	0.000	0.000	-1.69	0.00	0.000
4	0.329	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	-9.706	1.791	-0.545	0.157	0.000	-1.015	0.508
2	0.158	-1.413	0.573	0.812	2.233	-1.193	3.388	5.966	0.074	5.539
3	0.324	0.125	0.019	0.260	3.147	-0.273	0.144	6.153	-0.432	0.441
4	0.324	0.014	0.011	0.000	-2.099	-0.216	0.275	-4.199	-0.432	0.551
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.2261	-0.0000	0.0000	0.3286	-0.0000	0.0000	0.3245	0.0144	0.0112

TIME= 0.350

APPENDIX B

5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 -0.000 0.000 -1.497 -2.762 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 0.145 -0.211 -0.137 0.005 -0.433 -0.807 0.445 -0.73 -0.66 1.782  
 3 0.291 -0.000 0.000 -0.133 -0.340 0.000 0.000 -0.73 0.00 0.000  
 4 0.291 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.00 0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 -0.000 0.000 -8.677 4.703 -0.449 -0.015 0.000 -0.803 0.402  
 2 -0.371 -0.808 1.360 3.701 6.880 0.914 2.431 16.299 0.438 0.971  
 3 -0.778 0.109 0.075 2.846 7.614 -0.607 0.201 16.255 -0.983 0.817  
 4 -0.778 0.049 0.057 0.000 -4.178 -0.491 0.425 -8.355 -0.983 0.850  
 5 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.2580 0.0000 0.0000 0.2909 0.0000 0.0000 -0.7784 0.0493 0.0570

\*\*\*\*\*

TIME= 0.450

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.100 0.120 0.794 -0.608 0.000 -0.000  
 2 0.136 0.060 0.021 0.797 -0.563 0.179 -0.126  
 3 0.271 -0.000 -0.000 0.928 -0.372 0.000 -0.000  
 4 0.271 -0.000 0.000 1.000 -0.000 -0.000 -0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 -0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 -0.000 0.000 -1.911 -2.494 -0.000 0.000 -6.28 -0.00 0.000

INSBODY & OUTSBODY

2 0.118 -0.243 -0.065 0.250 0.003 -0.717 0.547 0.30 -0.62 1.742  
 3 0.237 0.000 -0.000 0.056 0.140 -0.000 0.000 0.30 -0.00 0.000  
 4 0.237 0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.00 -0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.00 -0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 -7.835 6.002 -0.324 -0.062 -0.000 -0.591 0.295  
 2 -0.595 -0.429 1.524 6.758 11.548 2.424 1.503 27.166 0.221 -2.757  
 3 -1.229 -0.035 -0.001 5.033 12.636 0.097 -0.228 27.203 0.010 -0.496  
 4 -1.229 -0.036 -0.001 -0.000 -4.773 0.005 -0.251 -9.546 0.010 -0.503  
 5 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.2712 -0.0000 0.0000 0.2368 0.0000 -0.0000 -1.2292 -0.0358 -0.0007

\*\*\*\*\*

TIME= 0.500

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.100 0.120 0.689 -0.725 0.000 0.000  
 2 0.141 0.048 0.020 0.819 -0.546 0.147 -0.098  
 3 0.281 0.000 -0.000 0.938 -0.346 0.000 0.000  
 4 0.281 -0.000 -0.000 1.000 0.000 -0.000 -0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 -0.000 -0.000 -2.277 -2.164 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 0.084 -0.251 0.013 0.688 0.777 -0.558 0.592 2.09 -0.62 1.486  
 3 0.168 0.000 -0.000 0.361 0.980 0.000 -0.000 2.09 0.00 -0.000  
 4 0.168 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.00 0.00 0.000

APPENDIX B

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 -0.000 0.000 -6.799 7.154 -0.191 -0.069 0.000 -0.363 0.181  
 2 -0.827 -0.160 1.407 9.814 19.331 5.169 -0.087 43.370 1.727 -9.533  
 3 -1.684 -0.481 -0.340 6.543 20.925 2.441 -1.686 43.793 3.416 -4.850  
 4 -1.684 -0.394 -0.278 0.000 -5.816 1.708 -2.421 -11.633 3.416 -4.842  
 5 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.2814 -0.0000 -0.0000 0.1675 -0.0000 -0.0000 -1.6844 -0.3942 -0.2781

\*\*\*\*\*

TIME= 0.550

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.100 0.120 0.567 -0.824 0.000 0.000  
 2 0.144 0.036 0.023 0.867 -0.477 0.125 -0.069  
 3 0.288 -0.000 0.000 0.964 -0.265 0.000 0.000  
 4 0.288 0.000 -0.000 1.000 -0.000 0.000 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 -0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dx dy dz de0 de1 de2 de3 dw-x w-y w-z  
 1 0.000 -0.000 0.000 -2.588 -1.781 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 0.044 -0.235 0.090 1.201 2.029 -0.289 0.546 4.76 -0.56 0.882  
 3 0.088 -0.000 0.000 0.632 2.296 0.000 0.000 4.76 0.00 0.000  
 4 0.088 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 0.000 -0.000 -5.597 8.129 -0.077 -0.043 -0.000 -0.157 0.079  
 2 -1.088 -0.188 0.898 6.339 27.025 9.925 -3.142 53.500 8.922 -20.795  
 3 -2.190 -1.504 -1.154 1.838 28.070 7.186 -5.597 55.104 10.888 -14.604  
 4 -2.190 -1.274 -0.956 -0.000 -8.498 5.444 -7.251 -16.996 10.888 -14.501

IN5BODY & OUT5BODY

5 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.2878 0.0000 -0.0000 0.0883 -0.0000 0.0000 -2.1896 -1.2736 -0.9563

\*\*\*\*\*

TIME= 0.600

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 -0.000 0.100 0.120 0.431 -0.902 0.000 0.000  
 2 0.145 0.025 0.029 0.930 -0.345 0.120 -0.045  
 3 0.290 -0.000 0.000 0.993 -0.121 0.000 0.000  
 4 0.290 -0.000 0.000 1.000 -0.000 0.000 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dx dy dz de0 de1 de2 de3 dw-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 -0.000 -2.834 -1.355 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 0.002 -0.196 0.158 1.141 3.063 0.121 0.405 6.59 -0.04 0.036  
 3 0.004 0.000 0.000 0.398 3.271 0.000 0.000 6.59 0.00 0.000  
 4 0.004 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 -0.000 0.000 -4.256 8.905 -0.003 -0.002 0.000 -0.006 0.003  
 2 -1.225 -0.161 0.335 -8.723 13.365 12.994 -6.801 18.354 20.368 -25.607  
 3 -2.451 -2.305 -1.787 -9.471 12.088 9.503 -9.820 21.713 16.498 -21.791  
 4 -2.451 -1.954 -1.487 -0.000 -8.636 8.249 -10.838 -17.271 16.498 -21.676  
 5 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.2902 -0.0000 0.0000 0.0042 -0.0000 0.0000 -2.4506 -1.9542 -1.4874

APPENDIX B

\*\*\*\*\*

TIME= 0.650

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	-0.000	0.100	0.120	0.285	-0.959	0.000	0.000
2	0.144	0.016	0.038	0.970	-0.201	0.137	-0.028
3	0.288	0.000	0.000	1.000	0.031	0.000	0.000
4	0.288	-0.000	0.000	1.000	-0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	-0.000	-3.012	-0.895	0.000	0.000	-6.28	0.00	0.000
2	-0.040	-0.137	0.211	0.439	2.457	0.539	0.249	5.04	0.88	-0.382
3	-0.080	-0.000	-0.000	-0.077	2.518	0.000	0.000	5.04	0.00	0.000
4	-0.080	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	-0.000	-0.000	0.000	-2.811	9.461	0.027	0.029	0.000	0.072	-0.036
2	-1.092	0.553	0.223	-11.516	-15.602	9.331	-6.352	-36.087	19.589	-12.437
3	-2.178	-1.540	-1.279	-5.837	-16.727	5.782	-7.407	-33.080	12.013	-14.453
4	-2.178	-1.278	-1.060	-0.000	-3.578	6.007	-7.241	-7.156	12.013	-14.483
5	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.2882	-0.0000	0.0000	-0.0801	-0.0000	-0.0000	-2.1784	-1.2781	-1.0602

\*\*\*\*\*

IN5BODY & OUT5BODY

TIME= 0.700

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	-0.000	0.100	0.120	0.131	-0.991	0.000	0.000
2	0.141	0.011	0.050	0.979	-0.111	0.171	-0.019
3	0.282	-0.000	0.000	0.993	0.122	0.000	0.000
4	0.282	-0.000	0.000	1.000	-0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	-0.000	-0.000	0.000	-3.114	-0.412	0.000	0.000	-6.28	0.00	0.000
2	-0.080	-0.065	0.243	-0.006	1.151	0.792	0.111	2.32	1.53	-0.352
3	-0.160	0.000	-0.000	-0.141	1.152	0.000	0.000	2.32	0.00	0.000
4	-0.160	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.00	0.00	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	0.000	-1.296	9.784	0.021	0.031	0.000	0.066	-0.033
2	-0.889	1.228	0.125	-5.014	-19.015	4.391	-4.344	-39.653	10.084	-3.166
3	-1.774	-0.594	-0.573	0.996	-19.210	2.472	-3.277	-38.378	5.703	-5.904
4	-1.774	-0.491	-0.469	-0.000	-1.116	2.851	-2.983	-2.231	5.703	-5.966
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.2822	-0.0000	0.0000	-0.1600	-0.0000	-0.0000	-1.7739	-0.4905	-0.4689

\*\*\*\*\*

TIME= 0.750

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.100	0.120	-0.025	-1.000	0.000	0.000
2	0.136	0.010	0.062	0.974	-0.078	0.214	-0.017

APPENDIX B

3 0.272 -0.000 0.000 0.988 0.154 0.000 0.000  
 4 0.272 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ dE0 dE1 dE2 dE3 dW-X dW-Y dW-Z  
 1 0.000 0.000 0.000 -3.141 0.080 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 -0.115 0.013 0.251 -0.179 0.229 0.897 -0.025 0.44 1.81 -0.293  
 3 -0.231 -0.000 0.000 -0.034 0.217 0.000 0.000 0.44 0.00 0.000  
 4 -0.231 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde4 dde5 dde6  
 1 -0.000 0.000 0.000 0.251 9.866 -0.004 -0.009 0.000 -0.018 0.009  
 2 -0.667 1.547 -0.134 -2.278 -13.019 1.201 -3.019 -26.956 3.286 -0.579  
 3 -1.335 -0.060 -0.108 2.010 -13.235 0.505 -0.612 -26.774 1.187 -1.054  
 4 -1.335 -0.077 -0.086 0.000 0.299 0.593 -0.535 0.598 1.187 -1.069  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.2724 0.0000 0.0000 -0.2305 -0.0000 0.0000 -1.3351 -0.0774 -0.0859

\*\*\*\*\*

TIME= 0.800

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.100 0.120 -0.181 -0.983 0.000 0.000  
 2 0.130 0.013 0.074 0.962 -0.081 0.259 -0.022  
 3 0.259 0.000 -0.000 0.989 0.150 0.000 0.000  
 4 0.259 0.000 -0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

199

IN5BODY & OUT5BODY

BODY dX dY dZ dE0 dE1 dE2 dE3 dW-X dW-Y dW-Z  
 1 -0.000 0.000 0.000 -3.089 0.570 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 -0.143 0.090 0.235 -0.273 -0.292 0.907 -0.162 -0.65 1.87 -0.319  
 3 -0.286 0.000 0.000 0.049 -0.322 0.000 0.000 -0.65 0.00 0.000  
 4 -0.286 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dde4 dde5 dde6  
 1 -0.000 0.000 -0.000 1.791 9.706 -0.025 -0.088 0.000 -0.163 0.082  
 2 -0.422 1.562 -0.504 -1.599 -8.279 -0.739 -2.217 -17.373 -0.592 0.076  
 3 -0.846 0.175 0.119 1.208 -8.680 -0.645 0.851 -17.526 -1.530 1.490  
 4 -0.846 0.090 0.091 0.000 1.697 -0.765 0.756 3.394 -1.530 1.511  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddx ddy ddz  
 1 0.2594 0.0000 -0.0000 -0.2864 0.0000 0.0000 -0.8456 0.0898 0.0909

\*\*\*\*\*

TIME= 0.850

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.100 0.120 -0.333 -0.943 0.000 0.000  
 2 0.122 0.019 0.085 0.947 -0.104 0.303 -0.033  
 3 0.244 0.000 0.000 0.992 0.125 0.000 0.000  
 4 0.244 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ dE0 dE1 dE2 dE3 dW-X dW-Y dW-Z  
 1 0.000 -0.000 0.000 -2.962 1.046 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 -0.161 0.158 0.196 -0.346 -0.576 0.852 -0.290 -1.28 1.80 -0.399  
 3 -0.322 -0.000 -0.000 0.080 -0.636 0.000 0.000 -1.28 0.00 0.000  
 4 -0.322 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000



APPENDIX B

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 0.000 3.287 9.306 -0.023 -0.187 0.000 -0.337 0.168  
 2 -0.153 1.344 -0.901 -1.312 -5.271 -2.047 -1.679 -11.407 -3.078 0.357  
 3 -0.299 0.230 0.182 0.309 -5.730 -1.278 1.544 -11.448 -2.922 2.744  
 4 -0.299 0.122 0.129 0.000 2.951 -1.461 1.386 5.902 -2.922 2.773  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dx dy dz ddx ddy ddz  
 1 0.2441 0.0000 0.0000 -0.3216 -0.0000 -0.0000 -0.2993 0.1223 0.1289

\*\*\*\*\*

TIME= 0.900

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.100 0.120 0.120 -0.476 -0.879 0.000 0.000  
 2 0.114 0.028 0.094 0.928 -0.137 0.343 -0.051  
 3 0.228 0.000 -0.000 0.996 0.088 -0.000 0.000  
 4 0.228 0.000 -0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dx dy dz de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 -0.000 0.000 -2.762 1.497 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 -0.165 0.211 0.137 -0.403 -0.727 0.741 -0.400 -1.66 1.62 -0.487  
 3 -0.330 0.000 0.000 0.073 -0.826 -0.000 -0.000 -1.66 0.00 -0.000  
 4 -0.330 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 0.00 0.00 -0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 -0.000 4.703 8.677 0.009 -0.276 -0.000 -0.493 0.247  
 2 0.146 0.957 -1.244 -0.934 -3.337 -3.059 -1.211 -7.589 -5.029 0.787

INSBODY & OUTSBODY

3 0.314 0.189 0.158 -0.363 -3.701 -1.569 1.761 -7.308 -3.436 3.231  
 4 0.314 0.090 0.095 -0.000 3.902 -1.718 1.625 7.804 -3.436 3.249  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dx dy dz ddx ddy ddz  
 1 0.2277 0.0000 -0.0000 -0.3296 -0.0000 -0.0000 0.3142 0.0900 0.0952

\*\*\*\*\*

TIME= 0.950

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.100 0.120 0.120 -0.608 -0.794 0.000 0.000  
 2 0.106 0.040 0.099 0.907 -0.175 0.377 -0.073  
 3 0.212 -0.000 -0.000 0.999 0.044 0.000 0.000  
 4 0.212 -0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dx dy dz de0 de1 de2 de3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 -0.000 0.000 -2.494 1.911 0.000 0.000 -6.28 0.00 0.000  
 2 -0.152 0.243 0.065 -0.434 -0.805 0.578 -0.481 -1.89 1.32 -0.532  
 3 -0.303 0.000 -0.000 0.041 -0.944 0.000 0.000 -1.89 -0.00 0.000  
 4 -0.303 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 -0.000 0.000 6.002 7.835 0.061 -0.318 0.000 -0.580 0.290  
 2 0.482 0.468 -1.474 -0.366 -2.080 -3.937 -0.663 -4.973 -6.793 1.690  
 3 1.004 0.113 0.102 -0.797 -2.200 -1.628 1.691 -4.327 -3.401 3.235  
 4 1.004 0.038 0.040 -0.000 4.454 -1.700 1.620 8.908 -3.401 3.240  
 5 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

IN5BODY & OUT5BODY

APPENDIX B

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.2117 -0.0000 0.0000 -0.3034 -0.0000 -0.0000 1.0036 0.0380 0.0399

\*\*\*\*\*

TIME= 1.000

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.100	0.120	-0.725	-0.689	0.000	0.000
2	0.099	0.052	0.100	0.885	-0.217	0.400	-0.098
3	0.198	0.000	0.000	1.000	-0.005	0.000	0.000
4	0.198	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	0.000	-2.164	2.277	0.000	0.000	-6.28	0.00	0.000
2	-0.119	0.251	-0.013	-0.431	-0.846	0.368	-0.520	-2.03	0.94	-0.488
3	-0.238	-0.000	-0.000	-0.005	-1.014	-0.000	0.000	-2.03	0.00	0.000
4	-0.238	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	-0.000	-0.000	7.154	6.799	0.103	-0.285	0.000	-0.542	0.271
2	0.846	-0.058	-1.552	0.338	-1.306	-4.703	0.061	-3.038	-8.313	3.258
3	1.735	0.045	0.049	-1.034	-1.041	-1.529	1.456	-2.094	-3.043	2.929
4	1.735	-0.006	-0.006	-0.000	4.558	-1.521	1.465	9.117	-3.043	2.929
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.1980 0.0000 0.0000 -0.2380 -0.0000 -0.0000 1.7354 -0.0058 -0.0060

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

```

4 1 2 2 0 2 0 0 0 1 0 1
0 0 0 1 0 0 0
0 -0.06567 0 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
-0.0475 0.49977 0 1 0 0 0
2 5 0 146.6 0
3 0 0 0
3 0 0.4812 0
2 3 0 0.06567 0.1 0 0 0
3 4 0 0.4812 0 0.0475 -0.01857 0.1
1 2 0 -0.06567 0 0 0 0 -0.1 0 0.1 0
4 1 0 0 0 -0.0475 0.49977 0 0.01 0 0 -0.05 0.49977 0
3 5 0
1 0 0 0 0 0 0
0.000000119 0.04 0.0035717333

0.0011905666
0.000595
-----RSSR mechanism-----
first line: 4 bodies, 1 driver, 2 point of interest, 2 spheric joint, 0 unive j,
2 revolut j, 0 cylin j, 0 trans j, 0 screw j, 1 simpl j, 0 distance constr,
1 groun body.
line2-5: local coordinates and Euler parameters for 4 bodies
line6: drive body 2, direction BETA, angle velocity=146.6
line7: interest point body3 (0 0 0)
line8: interest point body3 (0 0.4812 0)
line9: spheric joint1 body No 2 3, local coord.Pi Pj
line10: spheric joint2 body No 3 4, local coord.Pi Pj
line11: revolut joint1 body No 1 5, local coord Pi Pj Qi Qj
line12: revolut joint2 body No 2 3, local coord Pi Pj Qi Qj
line13: simplified constr. body3 5-dir.beta. angle-0
line14: ground body No 1 coord. and angle 0 0 0 0 0
line15: time

```

IN-RSSR & OUT-RSSR

```

ENTER NUMBER OF
body : NBODY
driver: NDRIVE
points of interest: NPOINT
spherical joints: NSPHER
universal joints: NUNIVE
revolute joints: NREVOL
cylindrical joints: NCYLIN
translational joints: NTRANS
screw joints: NSCREW
simplified constraint: NSIMPL
distance constraint: NSIMP2
grounded body: NGROUN
4 1 2 2 0 2 0 0 0 1 0 1
FOR BODY 1 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FOR BODY 2 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 -0.07 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FOR BODY 3 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
0.00 0.00 0.10 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FOR BODY 4 ENTER INITIAL ESTIMATES OF X,Y,Z & E0 E1,E2,E3
-0.05 0.50 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FOR DRIVER No 1
ENTER BODY No
2
ENTER DRIVER CONSTRAINT
NUMBER 1-6 FOR X,Y,Z,ALPHA,BETA,DELTA
5
ENTER INITIAL POSITION, VELOCITY & ACCELERATION
0.00 146.60 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 1
ENTER BODY No
3
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
0.00 0.00 0.00
FOR POINT OF INTEREST No 2
ENTER BODY No
3
ENTER RELATIVE COORDINATES OF THE POINT
0.00 0.48 0.00
FOR SPHERICAL JOINT No 1
ENTER BODY No I & J
2 3
ENTER LOCAL COORDINATES OF JOINT POINT

```

APPENDIX B

0.00 0.07 0.10 0.00 0.00 0.00  
 FOR SPHERICAL JOINT No 2  
 ENTER BODY No I & J  
 3 4  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF JOINT POINT  
 0.00 0.48 0.00 0.05 -0.02 0.10  
 FOR REVOLUTE JOINT No 1  
 ENTER BODY No I & J  
 1 2  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS Pij, Qi, Qj  
 0.00 -0.07 0.00 0.00 0.00 -0.10 0.00 0.00 0.10 0.00  
 FOR REVOLUTE JOINT No 2  
 ENTER BODY No I & J  
 4 1  
 ENTER LOCAL COORDINATES OF POINTS Pij, Qi, Qj  
 0.00 0.00 0.00 -0.05 0.50 0.00 0.01 0.00 0.00 -0.05 0.50 0.00  
 FOR SIMPLIFIED CONSTRAINTS No 1  
 ENTER BODY No:

3  
 5  
 ENTER 1-6 FOR DIRECTION X, Y, Z, ALPHA(axis is X), BETA(axis is Y), DELTA(axis is Z)  
 ENTER VALUES OF CONSTRAINT  
 0.00

ENTER BODY No FOR No 1 GROUNDED BODY  
 1  
 ENTER BODY 1 COORDINATES  
 1 1 0.00 1 2 0.00 1 3 0.00 1 4 0.00 1 5 0.00 1 6 0.00  
 \*-----\*  
 ENTER STARTING TIME: Ti; FINAL TIME: Te; AND dT  
 0.00 0.04 0.00

- KINEMATIC ANALYSIS -

TIME= 0.000

---

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.066	0.000	1.000	-0.000	0.000	0.000
3	0.000	-0.000	0.100	1.000	0.000	0.000	0.000
4	-0.048	0.500	-0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

203

IN-RSSR & OUT-RSSR

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	0.000	-0.000	-0.001	0.000	73.300	0.000	0.00	146.60	0.000
3	14.660	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	15.233	0.00	0.00	30.466
4	0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	-0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.000	0.000	-0.000	-5372.890	-0.000	-0.047	0.000	-0.000	0.000	0.000
3	-0.037	0.000	-2149.156	-232.037	146.943	0.000	-0.038	4293.886	0.008	-0.075
4	0.000	0.000	-0.000	-0.000	2233.121	0.000	-0.000	4466.243	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.0000	-0.0000	0.1000	14.6600	0.0000	-0.0003	-0.0375	0.0000	-2149.1560
2	0.0000	0.4812	0.1000	-0.0000	-0.0001	-0.0000	0.0000	-446.6243	-82.9381

\*\*\*\*\*

TIME= 0.004

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	-0.000	-0.000	-0.000	1.000	-0.000	0.000	-0.000
2	-0.000	-0.066	-0.000	0.966	-0.000	0.259	-0.000
3	0.050	-0.000	0.087	0.999	0.013	0.000	0.052
4	-0.048	0.500	-0.000	1.000	0.014	-0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	-0.000
2	0.000	0.000	0.000	-18.973	0.000	70.802	-0.000	0.00	146.60	-0.000
3	12.696	0.000	-7.330	-0.788	7.300	0.000	13.252	14.60	0.41	26.547
4	0.000	-0.000	-0.106	7.616	-0.000	-0.000	15.23	-0.00	-0.00	-0.000

APPENDIX B

IN-RSSR & OUT-RSSR

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 -0.000 -0.000 -0.000 -5189.789 -0.000 -1390.696 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000  
 3 -1074.643 0.000 -1861.186 -197.8541841.069 0.000 -1087.0123682.110220.643-2150.296  
 4 -0.000 0.000 0.000 -84.9021929.924 0.000 -0.0003861.839 0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0500 -0.0000 0.0866 12.6957 0.0000 -7.3304-1074.6427 0.0000-1861.1863  
 2 0.0000 0.4784 0.0994 0.0000 -1.5150 -0.3252 -0.0000-379.0828-105.5196

\*\*\*\*\*

TIME= 0.007

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 -0.000 -0.066 0.000 0.866 -0.000 0.500 0.000  
 3 0.087 -0.000 0.050 0.995 0.050 0.000 0.090  
 4 -0.048 0.500 0.000 0.999 0.052 0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.000 -0.000-36.652 0.000 63.479 0.000 -0.00 146.60 -0.000  
 3 7.329 0.000-12.696 -1.334 12.542 0.000 7.778 25.08 1.50 15.714  
 4 -0.000 0.000 0.000 -0.678 13.071 0.000 -0.000 26.18 0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000  
 2 -0.000 -0.000 -0.000 -4652.989 -0.000 -2686.566 -0.000 0.000 0.000  
 3 -1861.280 0.000 -1074.481 -97.9401028.231 0.000 -1914.6152055.208376.242-3791.059  
 4 -0.000 0.000 0.000 -225.2451034.595 -0.000 -0.0002089.756 -0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.0866 -0.0000 0.0500 7.3293 0.0000-12.6963-1861.2797 0.0000-1074.4810  
 2 -0.0000 0.4709 0.0975 -0.0000 -2.5534 -0.7545 -0.0000-184.0848-127.0739

\*\*\*\*\*

TIME= 0.011

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 0.000 -0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 -0.000 -0.066 -0.000 0.707 -0.000 0.707 0.000  
 3 0.100 0.000 -0.000 0.990 0.099 0.000 0.105  
 4 -0.048 0.500 -0.000 0.995 0.103 -0.000 0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 w-x w-y w-z  
 1 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.000 -0.000-51.833 0.000 51.829 0.000 -0.00 146.60 -0.000  
 3 -0.001 0.000-14.660 -1.449 14.350 0.000 0.153 28.69 2.98 0.607  
 4 0.000 -0.000 0.000 -1.504 14.589 0.000 0.000 29.33 0.00 0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -0.000 0.000-3799.075 0.000-3799.339 0.000 -0.000 0.000 0.000  
 3 -2149.156 -0.000 0.149 32.750-32.117 0.000-2259.734-70.035439.892-4479.113  
 4 0.000 -0.000 0.000 -195.875-197.657 -0.000 -0.000-353.059 0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 0.1000 0.0000 -0.0000 -0.0010 0.0000-14.6600-2149.1560 -0.0000 0.1492  
 2 0.0000 0.4612 0.0941 0.0000 -2.7605 -1.1317 -0.0000 66.4222-67.3538

\*\*\*\*\*

APPENDIX B

IN-RSSR & OUT-RSSR

1	-0.000	0.000	-0.000	1.000	0.000	0.000	-0.000
2	-0.000	-0.066	-0.000	0.259	0.000	0.966	0.000
3	0.050	-0.000	-0.087	0.982	0.183	0.000	0.053
4	-0.048	0.500	-0.000	0.983	0.184	-0.000	-0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	-0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.00	0.00	-0.00
2	-0.000	0.000	-0.000	-70.803	0.000	18.968	0.000	0.00	146.60	-0.000
3	-12.697	-0.000	-7.329	-0.606	7.120	0.000	-13.407	14.20	5.67	-26.257
4	0.000	0.000	0.000	-1.221	6.508	0.000	0.000	13.24	-0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.000	-0.000	-1390.336	-0.000	-5189.886	0.000	0.000	0.000	0.000
3	-1074.384	0.000	1861.336	165.212	-1809.299	0.000	-1162.683	-3612.73	4234.515	-2300.184
4	-0.000	-0.000	0.000	280.608	-1732.940	0.000	0.000	-3509.928	-0.000	0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.0500	-0.0000	-0.0866	-12.6967	-0.0000	-7.3287	-1074.3843	0.0000	1861.3355
2	0.0000	0.4462	0.0865	0.0000	-1.1450	-0.7093	0.0000	312.8722	172.8393

\*\*\*\*\*

TIME= 0.021

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	-0.000	0.000	1.000	-0.000	-0.000	0.000
2	0.000	-0.066	0.000	-0.000	-0.000	1.000	-0.000
3	-0.000	-0.000	-0.100	0.981	0.196	0.000	-0.000
4	-0.048	0.500	-0.000	0.981	0.196	0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
------	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

TIME= 0.014

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.066	0.000	0.500	-0.000	0.866	0.000
3	0.087	0.000	-0.050	0.985	0.148	0.000	0.091
4	-0.048	0.500	0.000	0.989	0.151	-0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	0.000	-0.000	-63.481	0.000	36.647	0.000	-0.00	146.60	-0.000
3	-7.331	0.000	-12.695	-1.144	12.355	0.000	-7.629	24.67	4.51	-14.817
4	-0.000	0.000	0.000	-1.821	11.924	0.000	0.000	24.12	-0.00	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.000	0.000	0.000	-2686.243	0.000	-4653.176	0.000	-0.000	0.000	0.000
3	-1861.130	0.000	1074.739	128.099	-1058.114	0.000	-1993.270	-2121.912	395.104	-3949.416
4	-0.000	0.000	0.000	38.945	-1218.651	0.000	0.000	-2421.120	-0.000	0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	0.0866	0.0000	-0.0500	-7.3311	0.0000	-12.6953	-1861.1305	0.0000	1074.7395
2	0.0000	0.4522	0.0899	-0.0000	-2.1688	-1.1477	0.0000	245.3407	62.8627

\*\*\*\*\*

TIME= 0.018

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
------	---	---	---	----	----	----	----

APPENDIX B

1 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000  
 2 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000  
 3 -14.660 -0.000 0.002 0.000 -0.002 0.000 -15.535 -0.00 6.10 -30.466  
 4 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.002 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.00 -0.000

ACCELERATION  
 BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -0.000 0.000 0.326 -0.000 -5372.890 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 3 0.261 0.0002149.156171.596-2087.570 0.000 0.283-4161.325 -0.057 0.560  
 4 -0.000 0.000 0.000373.105-1864.665 0.000 0.000-3803.253 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST  
 No X Y Z dx dy dz ddx ddy ddz  
 1 -0.0000 -0.0000 -0.1000 -14.6600 -0.0000 0.0018 0.2609 0.00002149.1560  
 2 0.0000 0.4442 0.0852 -0.0000 0.0003 0.0002 0.0000323.8681211.5299

\*\*\*\*\*

TIME= 0.025

POSITION  
 BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 -0.000 -0.000 1.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000  
 2 0.000 -0.066 -0.000 -0.259 0.000 0.966 -0.000  
 3 -0.050 0.000 -0.087 0.982 0.183 0.000 -0.053  
 4 -0.048 0.500 -0.000 0.983 0.184 -0.000 -0.000

VELOCITY  
 BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x w-y w-z  
 1 -0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.00 -0.00 -0.000  
 2 -0.000 0.000 0.000 -70.801 0.000 -18.976 0.000 0.00 146.60 -0.000  
 3 -12.695 0.000 7.332 0.606 -7.123 0.000 -13.405 -14.21 5.67 -26.253  
 4 -0.000 -0.000 0.000 1.222 -6.511 -0.000 -0.000 -13.25 0.00 -0.000

ACCELERATION  
 BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z

IN-RSSR & OUT-RSSR

1 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000  
 2 0.000 -0.000 0.0001390.966 -0.000-5189.717 0.000 0.000 0.000 0.000  
 31074.836 -0.0001861.075165.205-1809.048 0.0001163.169-3612.238-234.6112301.146  
 4 0.000 -0.000 0.000280.525-1732.806 0.000 0.000-3509.636 0.000 0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dx dy dz ddx ddy ddz  
 1 -0.0500 0.0000 -0.0866 -12.6949 0.0000 7.33181074.8362 -0.00001861.0746  
 2 -0.0000 0.4462 0.0865 -0.0000 1.1455 0.7096 0.0000312.8590172.8035

\*\*\*\*\*

TIME= 0.029

POSITION

BODY X Y Z e0 e1 e2 e3  
 1 0.000 -0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000 -0.066 0.000 -0.500 -0.000 0.866 0.000  
 3 -0.087 -0.000 -0.050 0.985 0.148 0.000 -0.091  
 4 -0.048 0.500 -0.000 0.989 0.151 -0.000 -0.000

VELOCITY

BODY dX dY dZ de0 de1 de2 de3 dw-x w-y w-z  
 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.000 0.000 -63.477 0.000 -36.655 0.000 0.00 146.60 0.000  
 3 -7.328 -0.000 12.697 1.144 -12.357 0.000 -7.626 -24.68 4.51 -14.810  
 4 -0.000 0.000 0.000 1.821 -11.926 0.000 -0.000 -24.13 0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddx ddy ddz dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 -0.000 0.0002686.808 -0.000-4652.850 -0.000 0.000 0.000 0.000  
 31861.391 -0.0001074.288128.069-1057.684 0.0001993.536-2121.056-395.1533949.945  
 4 -0.000 0.000 0.000 38.817 -1218.293 -0.000 -0.000 -2420.380 -0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dx dy dz ddx ddy ddz

APPENDIX B

IN-RSSR & OUT-RSSR

1 -0.0866 -0.0000 -0.0500 -7.3280 -0.0000 12.69711861.3914 -0.00001074.2875  
 2 0.0000 0.4522 0.0899 0.0000 2.1692 1.1478 -0.0000245.2858 62.8002

\*\*\*\*\*

TIME= 0.036

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	-0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.066	0.000	-0.866	-0.000	0.500	-0.000
3	-0.087	-0.000	0.050	0.995	0.050	0.000	-0.090
4	-0.048	0.500	0.000	0.999	0.052	-0.000	0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	-0.000	0.000	-36.644	-0.000	-63.483	-0.000	-0.00	-0.00	146.60
3	7.332	-0.000	12.695	1.334	12.540	0.000	7.781	-25.08	1.50	15.720
4	-0.000	-0.000	-0.000	0.678	-13.070	0.000	0.000	-26.17	-0.00	-0.000

VELOCITY

BODY	dX	dY	dZ	de0	de1	de2	de3	w-x	w-y	w-z
1	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	0.000	-0.000	0.000	-51.826	-0.000	-51.835	-0.000	0.00	146.60	0.000
3	0.003	-0.000	14.660	1.449	-14.350	0.000	0.156	-28.69	2.98	0.614
4	-0.000	0.000	0.000	1.504	-14.590	0.000	0.000	-29.33	0.00	-0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.000	0.000	-0.000	3799.536	-0.000	-3798.878	0.000	0.000	-0.000	-0.000
3	32149.156	0.000	-0.373	32.693	-31.613	0.000	22.59	711.69	0.25	-439.886
4	-0.000	0.000	0.000	-195.946	-197.093	-0.000	-0.000	-351.931	-0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	-0.1000	0.0000	0.0000	0.0025	-0.0000	14.6600	2149.1560	0.0000	-0.3726
2	0.0000	0.4612	0.0941	-0.0000	2.7606	1.1316	-0.0000	66.3141	-67.4038

\*\*\*\*\*

TIME= 0.032

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	-0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.066	0.000	-0.707	0.000	0.707	0.000
3	-0.100	0.000	0.000	0.990	0.099	0.000	-0.105
4	-0.048	0.500	0.000	0.995	0.103	-0.000	0.000

ACCELERATION

BODY	ddX	ddY	ddZ	dde0	dde1	dde2	dde3	dw-x	dw-y	dw-z
1	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
2	-0.000	-0.000	0.000	4653.315	-0.000	-2686.001	0.000	0.000	0.000	-0.000
3	31861.019	-0.000	-1074.933	-97.998	1028.688	0.000	1914.328	2056.124	-376.190	3790.488
4	-0.000	0.000	-0.000	-225.205	1035.124	0.000	-0.000	2090.802	0.000	-0.000

POINTS OF INTEREST

No	X	Y	Z	dX	dY	dZ	ddX	ddY	ddZ
1	-0.0866	-0.0000	0.0500	7.3324	-0.0000	12.6945	1861.0187	-0.0000	-1074.9329
2	-0.0000	0.4710	0.0975	-0.0000	2.5531	0.7543	-0.0000	-184.1975	-127.0784

\*\*\*\*\*

TIME= 0.039

POSITION

BODY	X	Y	Z	e0	e1	e2	e3
1	0.000	-0.000	-0.000	1.000	-0.000	0.000	0.000
2	0.000	-0.066	-0.000	-0.966	0.000	0.259	-0.000
3	-0.050	-0.000	0.087	0.999	0.013	0.000	-0.052
4	-0.048	0.500	-0.000	1.000	0.014	0.000	0.000



APPENDIX B

IN-RSSR & OUT-RSSR

VELOCITY

BODY dX dY dZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.00 0.00 0.000  
 2 0.000 0.000 0.000 -18.964 0.000 -70.804 -0.000 -0.00 146.60 0.000  
 3 12.697 0.000 7.327 0.788 -7.297 0.000 13.254 -14.59 0.41 26.551  
 4 0.000 -0.000 -0.000 0.106 -7.613 -0.000 -0.000 -15.23 -0.00 -0.000

ACCELERATION

BODY ddX ddY ddZ dde0 dde1 dde2 dde3 dw-x dw-y dw-z  
 1 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000  
 2 -0.000 0.000 0.000 5189.958 0.000 -1390.066 0.000 -0.000 0.000 -0.000  
 3 1074.191 0.000 -1861.447 -197.885 1841.345 0.000 1086.549 3682.661 -220.552 2149.379  
 4 0.000 -0.000 -0.000 -84.833 1930.207 0.000 -0.000 3862.401 0.000 -0.000

POINTS OF INTEREST

No X Y Z dX dY dZ ddX ddY ddZ  
 1 -0.0500 -0.0000 0.0866 12.6975 0.0000 7.3274 1074.1908 0.0000 -1861.4472  
 2 -0.0000 0.4784 0.0994 -0.0000 1.5143 0.3250 -0.0000 -379.1455 -105.5027

\*\*\*\*\*

APPENDIX - C  
The Informations of "RSSR" from Prof. Tarcisio C.

Análise Cinemática de um mecanismo RSSR - 23/02/96

Parâmetros do mecanismo

O2= 0.0000000000000000E+000 -6.566999852657318E-002 0.0000000000000000E+000  
 O4= -4.749999940395355E-002 4.9976999856758118E-001 0.0000000000000000E+000  
 A= 0.0000000000000000E+000 0.0000000000000000E+000 1.000000014901161E-001  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.812000095844269E-001 1.000000014901161E-001  
 q2= 0.0000000000000000E+000 1.0000000000000000 0.0000000000000000E+000  
 q4= 1.0000000000000000 0.0000000000000000E+000 0.0000000000000000E+000  
 omega2= 146.600006103515600  
 omega2p= 0.0000000000000000E+000

Os parâmetros invariáveis serão a distância entre as juntas de cada uma das peças móveis; as posições das articulações fixas; as massas das peças móveis; as direções tanto do eixo de rotação da manivela, como da alavanca movida; a velocidade angular da manivela motora. Estes parâmetros estão expressos a seguir.

tempo= 1.190538140131129E-007

Posição de A e B

A= 1.745329012015736E-006 0.0000000000000000E+000 1.000000014748853E-001  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.811999921311383E-001 9.999999824904308E-002

Velocidade de A e B

VA= 14.660000826569750 0.0000000000000000E+000 -2.558652438141498E-004  
 VB= 0.0000000000000000E+000 -5.317232709882036E-005 -9.874097882694796E-006

Aceleração de A e B

AA= -3.750984630483187E-002 0.0000000000000000E+000 -2149.156210652669000  
 AB= 0.0000000000000000E+000 -446.624316463069600 -82.938108217592440

tempo= 3.571733304564826E-003

Posição de A e B

A= 5.000150317480773E-002 0.0000000000000000E+000 8.660167422332503E-002  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.784227936674023E-001 9.944416374737097E-002

Velocidade de A e B

VA= 12.695805969714120 0.0000000000000000E+000 -7.330220670611769  
 VB= 0.0000000000000000E+000 -1.514918021821726 -3.252000385963650E-001

Aceleração de A e B

AA= -1074.610395051802000 0.0000000000000000E+000 -1861.205232649140000  
 AB= 0.0000000000000000E+000 -379.087363357322200 -105.518333264391300

tempo= 7.143347555315640E-003

Posição de A e B

A= 8.660340385666962E-002 0.0000000000000000E+000 4.999850736233841E-002  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.709490956398384E-001 9.754076382514217E-002

Velocidade de A e B

VA= 7.329781484485483 0.0000000000000000E+000 -12.696059533973000  
 VB= 0.0000000000000000E+000 -2.553385360874320 -7.544623993015538E-001

Aceleração de A e B

Tabela 8.1 - Coordenadas de pontos notáveis do mecanismo

	x(m)	y(m)	z(m)
O <sub>2</sub>	0	-65,67.10 <sup>-3</sup>	0
O <sub>4</sub>	-47,5.10 <sup>-3</sup>	0,49977	0
O <sub>B</sub> (pos. inicial)	0	0,4812	0
O <sub>E</sub>	0	0	0
O <sub>F</sub>	0	0,49977	0
A (pos. inicial)	0	0	0,1
B (pos. inicial)	0	0,4812	0,1
C	0	-65,57.10 <sup>-3</sup>	-184,5.10 <sup>-3</sup>

Tabela 8.2 - Componentes dos versores  $\hat{q}_2$  e  $\hat{q}_4$

	x	y	z
$\hat{q}_2$	0	1	0
$\hat{q}_4$	1	0	0

$$\vec{\omega}_2 = (146,6 \text{ rad/s}) \hat{q}_2$$

$$\dot{\vec{\omega}}_2 = 0 \hat{q}_2$$

APPENDIX C

AA= -1861.242405171039000 0.0000000000000000E+000 -1074.546010363008000  
 AB= 0.0000000000000000E+000 -184.101044010916400 -127.074525274926400  
 tempo= 1.071496180606645E-002

Posição de A e B  
 A= 1.000000014754282E-001 0.0000000000000000E+000 -1.713937363687079E-006  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.611905340932586E-001 9.410882118934053E-002  
 Velocidade de A e B

VA= -2.512632279775693E-004 0.0000000000000000E+000 -14.660000826649350  
 VB= 0.0000000000000000E+000 -2.760536803750290 -1.131668579164006  
 Aceleração de A e B

AA= -2149.156210664339000 0.0000000000000000E+000 3.683519075510069E-002  
 AB= 0.0000000000000000E+000 66.398758505683620 -67.364668358351080

tempo= 1.428657605681727E-002

Posição de A e B  
 A= 8.660168991961657E-002 0.0000000000000000E+000 -5.000147598911264E-002  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.521966607788840E-001 8.989784796261356E-002  
 Velocidade de A e B

VA= -7.330216685188703 0.0000000000000000E+000 -12.695808270790560  
 VB= 0.0000000000000000E+000 -2.168870831304337 -1.147751576433971  
 Aceleração de A e B

AA= -1861.205569986960000 0.0000000000000000E+000 1074.609810788756000  
 AB= 0.0000000000000000E+000 245.324970217797600 62.844553873642490

tempo= 1.785819030756808E-002

Posição de A e B  
 A= 4.999853454857153E-002 0.0000000000000000E+000 -8.660338816130997E-002  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.462078529240259E-001 8.646353130157186E-002  
 Velocidade de A e B

VA= -12.696057233033180 0.0000000000000000E+000 -7.329785469987423  
 VB= 0.0000000000000000E+000 -1.145171007498995 -7.094066203845005E-001  
 Aceleração de A e B

AA= -1074.546594637616000 0.0000000000000000E+000 1861.242067853247000  
 AB= 0.0000000000000000E+000 312.867545802072700 172.826374398182800

tempo= 2.142980455831890E-002

Posição de A e B  
 A= -1.682545715353767E-006 0.0000000000000000E+000 -1.000000014759613E-001  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.441518553204273E-001 8.515555111576280E-002

Velocidade de A e B  
 VA= -14.660000826727500 0.0000000000000000E+000 2.466612121403064E-004  
 VB= 0.0000000000000000E+000 3.71707348524490E-005 2.427753387179668E-005  
 Aceleração de A e B

AA= 3.616053520526948E-002 0.0000000000000000E+000 2149.156210675796000  
 AB= 0.0000000000000000E+000 323.868177489575200 211.529868289122300

tempo= 2.500141880906971E-002

Posição de A e B  
 A= -5.000144880341263E-002 0.0000000000000000E+000 -8.660170561589958E-002  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.462081060368668E-001 8.646368809853655E-002  
 Velocidade de A e B

VA= -12.695810571865740 0.0000000000000000E+000 7.330212699764916  
 VB= 0.0000000000000000E+000 1.145242774013974 7.094464389397949E-001  
 Aceleração de A e B

AA= 1074.609226525604000 0.0000000000000000E+000 1861.205907324596000  
 AB= 0.0000000000000000E+000 312.865691238382400 172.8214417488826800

tempo= 2.857303305982053E-002

Posição de A e B  
 A= -8.660337246594184E-002 0.0000000000000000E+000 -4.999856173479966E-002  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.521971357540977E-001 8.989809931463458E-002  
 Velocidade de A e B

VA= -7.329789455488633 0.0000000000000000E+000 12.696054932092110  
 VB= 0.0000000000000000E+000 2.168926778979119 1.147766514911881  
 Aceleração de A e B

AA= 1861.24173055273000 0.0000000000000000E+000 1074.547178912118000  
 AB= 0.0000000000000000E+000 245.317361233731800 62.835974363230590

tempo= 3.214464731057134E-002

Posição de A e B  
 A= -1.000000014764846E-001 0.0000000000000000E+000 1.651154067069949E-006  
 B= 0.0000000000000000E+000 4.611911150987181E-001 9.410905936759591E-002  
 Velocidade de A e B

VA= 2.420591963102991E-004 0.0000000000000000E+000 14.660000826804210  
 VB= 0.0000000000000000E+000 2.760551446018293 1.131654674619123  
 Aceleração de A e B

AA= 2149.156210687041000 0.0000000000000000E+000 -3.548587965650194E-002  
 AB= 0.0000000000000000E+000 66.383870777560380 -67.371535452304190

tempo= 3.571626156132216E-002

Posição de A e B  
 A= -8.660172131217402E-002 0.000000000000000E+000 5.000142161770774E-002  
 B= 0.000000000000000E+000 4.709496640423738E-001 9.754093177227198E-002  
 Velocidade de A e B  
 VA= 7.330208714340412 0.000000000000000E+000 12.695812872939670  
 VB= 0.000000000000000E+000 2.553343038138653 7.544337158010903E-001  
 Aceleração de A e B  
 AA= 1861.206244662048000 0.000000000000000E+000 -1074.608642262348000  
 AB= 0.000000000000000E+000 -184.116637785570000 -127.075181626668100  
 tempo= 3.928787581207296E-002

Posição de A e B  
 A= -4.999858892102301E-002 0.000000000000000E+000 8.660335677056508E-002  
 B= 0.000000000000000E+000 4.784231750355635E-001 9.944424561304296E-002  
 Velocidade de A e B  
 VA= 12.696052631149780 0.000000000000000E+000 7.329793440989143  
 VB= 0.000000000000000E+000 1.514830981644677 3.251752770389468E-001  
 Aceleração de A e B  
 AA= 1074.547763186517000 0.000000000000000E+000 -1861.241393217114000  
 AB= 0.000000000000000E+000 -379.096070342429200 -105.515847871581300