

JAERI - M
89-121

Lagrangeの力学に基づく
マニピュレータ動特性方程式の完全な記述

1989年9月

佐々木 忍

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1989

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

Lagrangeの力学に基づくマニピュレータ動特性方程式の完全な記述

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

佐々木 忍

(1989年8月10日受理)

マニピュレータの動力学は、ロボット工学の分野においてもっとも重要な研究課題の一つである。動特性方程式とはいかなるものであるかを十分に理解するために、これまで多くの異なる方法が提案されてきた。しかしながら、6関節アームに対するこの方程式の完全な記述は、その誘導過程が極めて複雑で困難なため、今日までほとんど報告されていない。本報では、代数的演算を正確に実行できる計算コードREDUCEを使って、Lagrangeの力学に基づく系統的な方法で動特性方程式を新しく誘導した。

ここに示したすべての記述は、マニピュレータの制御アルゴリズムを構築する場合の有用な情報を提供するであろう。

A Complete Description of Robot Manipulator Dynamics
Based on Lagrangian Mechanics

Shinobu SASAKI

Department of Reactor Engineering
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 10, 1989)

Manipulator dynamics is one of the most important research topics in the field of robotics. Many different approaches have been taken to obtain a good understanding of what the kinetic equations exactly are. Their complete descriptions for a full six-jointed arm, however, have hardly been reported due to extremely laborious and complicated processes of derivation. With the aid of computer code REDUCE, which has a capability to carry out algebraic operations accurately, a new attempt was made in this paper to derive dynamics equations in a systematic manner based on Lagrange mechanics.

The full description shown will give useful information in designing the control algorithms for robot manipulators.

Keywords: Manipulator Dynamics, Lagrange's equation, Centripetal Force, Inertial Forces, Coriolis Forces, Link Kinematics

目 次

1. はじめに	1
2. 直接法による動特性方程式の誘導	3
3. 結果と要約	10
参考文献	11
謝 辞	11
付録 A マニピュレータリンク機構の位置・姿勢表現	16
付録 B 6リンク・マニピュレータに対する動特性方程式	22

Contents

1. Introduction	1
2. Derivation of Dynamical Equations via Direct Method	3
3. Results and Summary	10
References	11
Acknowledgements	11
Appendix A Expressions of the Position and Orientation of Manipulator Linkage Mechanism	16
Appendix B Description of Dynamical Equations for a Six-Link Manipulator	22

1. はじめに

マニピュレータの運動学における指先の位置・姿勢と各関節角との関係式は、機構全体が平衡状態に到達したことを前提に、リンク相互間の幾何学的、機構学的観点に着目して導き出したモデルである。そこには、力の関与は全く念頭においていない。機構が非常にゆっくり運動している場合も概ね静的な関係を保持しているものとみなして、リンクの解析を行っている。しかしながら、指先や各関節の駆動速度を増加させていくと、機構における各要素の慣性力や軸のねじり剛性などが影響して力の変動や振動現象が発生するようになる。これが機構の動力学(Kinetics/Dynamics)問題であり、マニピュレータの各リンクの質量や慣性などいわゆる力学現象を支配する物理量を考慮せずに、関節座標空間とデカルト座標空間とのトポロジカルな対応のみを扱う運動学(Kinematics)とはこの点が異なる。つまり、時間、空間の変化により、リンク機構各部分の慣性力、求心力、関節相互間の干渉効果に加えて、摩擦や弾性などが大きくなると、明らかに運動学のモデルでは説明ができなくなる。例えば、ロボットを高速操作で生産ラインなどに適用する場合、こうした動特性を考慮したモデルの開発が必要不可欠なことは論をまたない。

これまで、動力学問題に対して、いくつかの有力な方法が提案されてきた^{(1)~(4)}。それらは、例えば、Newton-Euler法、Gibbs関数法、d'Alembertの仮想仕事の原理による手法、Lagrangeの解法など、それぞれ特徴をもったアプローチで動特性問題に対処している。このうち、Lagrangeの方法は、古典力学の一般化座標を運動エネルギーとポテンシャル・エネルギーの概念に関係づけて動特性モデルを体系的に誘導するもので、系を支配する微分方程式の決定には極めて重宝である。その原理が簡単であるため、自由度の低いリンク機構に対しては、手計算でも厳密な運動方程式系を導き出せるが、通常の6リンク・マニピュレータの運動特性をLagrangeの方程式から手計算で直接誘導することはまず無理である。(以下、本報ではこの方法を直接的アプローチあるいは直接法と呼ぶ。) 実際、リンクをつなぐ関節が4自由度を超えると項の数が飛躍的に増加し、計算の過ちをおかす可能性も急激に高くなるのがつねである。

本報では、このLagrangeの方程式を使って、一般には引出すことができない6リンク・マニピュレータの動特性モデル(以下、動特性方程式、運動方程式など同じ意味で用いとくに区別はしない。)の詳細な記述を数式処理言語REDUCEを使って、自動的に生成することに取組んだ⁽⁵⁾。LISP言語の処理能力をフルに活用して、完全な形の解析表現を得ることができた。この運動方程式は2階の微分方程式で記述され、慣性項をはじめコリオリの力、求心力など、方程式を構成する各要素が極めて複雑な形ではあるが、追跡できたことに意義がある。通常の数値解法では、関節角の位置や速度、加速度の関数として駆動トルクを正確に算出するが、システム全体としての見通しをこのアプローチからくみとることは難しい。ある姿勢におけるマニピュレータにはいかなる慣性モーメントやコリオリの力が作用しているか等々の情報に乏しい。その点、解析表現は、力学的根拠に基づいた式が与えられているので、研究や使用目的によっては、動特性解析や制御問題への有力な情報を提供することも考えられる。このように、導出が困難とされた動特性方程式を可能なかぎり計算機を利用して数式処理し、方程式系の実体を把握しておけば、単純で

効率的な動特性計算モデルと制御アルゴリズムの構築に役立つと考えられる。とくにマニピュレータの運動特性を研究するうえで極めて重要であるが、同時に極めてアプローチが困難とされる非線形特性の問題にも有益な知見を与えることと期待できる。

今回使用した REDUCE コードは最初、ユタ大学で開発され、Rand Corporation に移管後広く数式処理言語として利用されている。本計算は、原研計算センターの最新バージョン REDUCE 3 を活用した。これまでの計算では、関節構成が第 5 軸までの処理は主記憶量が 2 MB なので比較的簡単に実行できた。それを超える自由度については、指定された容量を突破するため、方程式系を細分割したプログラムにより結果を導いた。本報の付録 B にその結果を見やすい形に再整理して掲載する。

なお、直接法に代わる計算機処理に適した数値解法のアルゴリズムは、方程式の各要素、つまり慣性項、求心力項、重力項などにかかる係数を行列形式に置き換えてから計算するのが一般的である。今回はこの問題には触れない。

2. 直接法による動特性方程式の誘導

本節では、機構学で用いた同次座標変換の概念を念頭におきながら、マニピュレータ・リンク機構を1つの力学系とみなし、この系にLagrange力学を適用した直接法により動特性方程式を導く。ここで扱う動特性方程式は、力やトルクとマニピュレータの各関節角、関節速度、関節加速度間の関係を記述した数学モデルである。

まず最初に、 n 個の関節変数 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ から構成されたリンク機構を考えよう。各リンクにはDenavit-Hartenbergの記法による座標系が定義されているとする⁽⁶⁾。 i 番目のリンクの空間位置をデカルト基準座標系で (p_{xi}, p_{yi}, p_{zi}) と表現し、その位置におけるリンク i が質量 m_i 、速度 v_i で運動しているものとみなす。その場合のポテンシャル・エネルギー $(PE)_i$ と運動エネルギー $(KE)_i$ は容易に決定できる。すなわち、

$$(PE)_i = m_i g p_{zi} \quad (1)$$

$$(KE)_i = \frac{1}{2} m_i v_i^2 \\ = \frac{1}{2} m_i \left\{ \left(\frac{dp_{xi}}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dp_{yi}}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dp_{zi}}{dt} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

リンク i のラグランジュ関数(Lagrangian)を運動エネルギー $(KE)_i$ とポテンシャル・エネルギー $(PE)_i$ の差

$$L_i = (KE)_i - (PE)_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (3)$$

とすると、システム全体のLagrangian L 、一般化力 τ_i 、一般化座標 (q_1, q_2, \dots, q_n) との間の関係はよく知られたラグランジュの方程式としてつぎのように記述される。

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right\} - \frac{\partial L}{\partial q_i} \quad (4)$$

通常、マニピュレータの解析研究で利用される一般化座標 (q_1, q_2, \dots, q_n) は、関節が回転あるいは旋回要素を採用した場合、関節変数 $q_i = \theta_i$ を慣用的に用い、並進の場合は $q_i = d_i$ とする。また、一般化力 τ_i は駆動トルク(または駆動力)として用いる。この τ_i は、座標 q_i に関連したすべてのエネルギー消費要素による力、すなわち、制動力(粘性抵抗分) D_i と座標 q_i に関連したすべての外部からの力 F_i により構成され、 $\tau_i = -D_i + F_i$ と表現されるが、ここではその効果をひっくり返して τ_i とする。 $\dot{\theta}_i, \ddot{\theta}_i$ はそれぞれ i 番目の関節変数の時間に関する1階微分、2階微分を表す。

いま、Fig.1に示した6リンク・マニピュレータを研究対象に取り上げ、Denavit-Hartenbergの簡便記法に従って、座標系の表現(付録A参照)をFig.2に与える。また、このリンク機構の機構学的パラメータをTable 2にまとめる。各リンクの空間的な位置を求めるための同次座標変換行列(A_i 行列)なども付録Aに掲載する。

ところで、6リンク全体のLagrangian L は各関数を加えてつぎのように表される。

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 \\ = \{(KE)_1 - (PE)_1\} + \{(KE)_2 - (PE)_2\} + \dots + \{(KE)_6 - (PE)_6\} \quad (5)$$

したがって、i番目の関節に作用するトルクは、つぎの微分方程式で表される。

$$\begin{aligned}
 \tau_i &= \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(L_1+L_2+L_3+L_4+L_5+L_6)}{\partial \dot{\theta}_i} \right\} - \frac{\partial(L_1+L_2+L_3+L_4+L_5+L_6)}{\partial \theta_i} \\
 &= \frac{d}{dt} \left[\sum_{k=1}^6 \frac{\partial(KE)_k}{\partial \dot{\theta}_i} - \frac{\partial(PE)_k}{\partial \dot{\theta}_i} \right] - \left[\sum_{k=1}^6 \frac{\partial(KE)_k}{\partial \theta_i} - \frac{\partial(PE)_k}{\partial \theta_i} \right] \\
 &= \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_1}{\partial \dot{\theta}_i} + \frac{\partial(KE)_2}{\partial \dot{\theta}_i} + \frac{\partial(KE)_3}{\partial \dot{\theta}_i} - \frac{\partial(KE)_4}{\partial \dot{\theta}_i} + \frac{\partial(KE)_5}{\partial \dot{\theta}_i} + \frac{\partial(KE)_6}{\partial \dot{\theta}_i} \right\} \\
 &\quad - \left\{ \frac{\partial(KE)_1}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(KE)_2}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(KE)_3}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(KE)_4}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(KE)_5}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(KE)_6}{\partial \theta_i} \right\} \\
 &\quad - \left\{ \frac{\partial(PE)_1}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(PE)_2}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(PE)_3}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(PE)_4}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(PE)_5}{\partial \theta_i} + \frac{\partial(PE)_6}{\partial \theta_i} \right\} \quad (6)
 \end{aligned}$$

ポテンシャル・エネルギー (PE)_i は、単に関節変数 $\theta_1, \dots, \theta_i$ で構成され、速度を変数として含まないのでえの展開式の一部が除去される。

以下、

$$\begin{aligned}
 \tau_{ij} &= -\frac{d(KE)_j}{d\theta_i} + \frac{d(PE)_j}{d\theta_i} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_j}{\partial \dot{\theta}_i} \right\} \quad ((j=1, \dots, 6), i=1, \dots, 6) \\
 &= -K_{ji} + P_{ji} + K_{jiT} \quad (K_{jii} = \partial(KE)_j / \partial \dot{\theta}_i, K_{jiT} = dK_{jii} / dt) \quad (7)
 \end{aligned}$$

と置き換えて、計算を分割して実行する。(7)の τ_{ij} を求めるためのポテンシャル・エネルギー (PE)_j は、付録 A に示した同次変換行列の位置データから計算し、運動エネルギー (KE)_j は、位置データの微分から求める。これらは、一般に、

$$\begin{aligned}
 (PE)_j &= F(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j) \\
 (KE)_j &= H(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dots, \dot{\theta}_j) \quad j=1, \dots, 6 \quad (8)
 \end{aligned}$$

なる形で表現される。これら一連の手順をプログラムのなかに入力して、関節1から6に作用するトルクを $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_6$ として順に算出していく。

1) 関節1に働く全トルク τ_1 ($=\tau_{11} + \tau_{12} + \tau_{13} + \tau_{14} + \tau_{15} + \tau_{16}$)

(a) 関節1の影響

$$\begin{aligned}
 \tau_{11} &= -\frac{d(KE)_1}{d\theta_1} + \frac{d(PE)_1}{d\theta_1} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_1}{\partial \dot{\theta}_1} \right\} \\
 &= -K_{11} + P_{11} + K_{11T} \\
 K_{111} &= \partial(KE)_1 / \partial \dot{\theta}_1, K_{11T} = dK_{111} / dt \quad (9)
 \end{aligned}$$

(b) 関節2の影響

$$\begin{aligned}
 \tau_{12} &= -\frac{d(KE)_2}{d\theta_1} + \frac{d(PE)_2}{d\theta_1} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_2}{\partial \dot{\theta}_1} \right\} \\
 &= -K_{21} + P_{21} + K_{21T} \\
 K_{211} &= \partial(KE)_2 / \partial \dot{\theta}_1, K_{21T} = dK_{211} / dt \quad (10)
 \end{aligned}$$

(c) 関節3の影響

$$\begin{aligned}
 \tau_{13} &= -\frac{d(KE)_3}{d\theta_1} + \frac{d(PE)_3}{d\theta_1} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_3}{\partial \dot{\theta}_1} \right\} \\
 &= -K_{31} + P_{31} + K_{31T} \\
 K_{311} &= \partial(KE)_3 / \partial \dot{\theta}_1, K_{31T} = dK_{311} / dt \quad (11)
 \end{aligned}$$

(d) 関節 4 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{14} &= -\frac{d(KE)_4}{d\theta_1} + \frac{d(PE)_4}{d\theta_1} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_4}{\partial\dot{\theta}_1} \right\} \\ &= -K_{41} + P_{41} + K_{41T} \\ K_{411} &= \partial(KE)_4 / \partial\dot{\theta}_1, K_{41T} = dK_{411} / dt\end{aligned}\quad (12)$$

(e) 関節 5 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{15} &= -\frac{d(KE)_5}{d\theta_1} + \frac{d(PE)_5}{d\theta_1} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_5}{\partial\dot{\theta}_1} \right\} \\ &= -K_{51} + P_{51} + K_{51T} \\ K_{511} &= \partial(KE)_5 / \partial\dot{\theta}_1, K_{51T} = dK_{511} / dt\end{aligned}\quad (13)$$

(f) 関節 6 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{16} &= -\frac{d(KE)_6}{d\theta_1} + \frac{d(PE)_6}{d\theta_1} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_6}{\partial\dot{\theta}_1} \right\} \\ &= -K_{61} + P_{61} + K_{61T} \\ K_{611} &= \partial(KE)_6 / \partial\dot{\theta}_1, K_{61T} = dK_{611} / dt\end{aligned}\quad (14)$$

2) 関節 2 に働く全トルク τ_2 ($=\tau_{21} + \tau_{22} + \tau_{23} + \tau_{24} + \tau_{25} + \tau_{26}$)

$$\tau_{21} = -\frac{d(KE)_1}{d\theta_2} + \frac{d(PE)_1}{d\theta_2} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_1}{\partial\dot{\theta}_2} \right\} = 0\quad (15)$$

(a) 関節 2 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{22} &= -\frac{d(KE)_2}{d\theta_2} + \frac{d(PE)_2}{d\theta_2} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_2}{\partial\dot{\theta}_2} \right\} \\ &= -K_{22} + P_{22} + K_{22T} \\ K_{222} &= \partial(KE)_2 / \partial\dot{\theta}_2, K_{22T} = dK_{222} / dt\end{aligned}\quad (16)$$

(b) 関節 3 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{23} &= -\frac{d(KE)_3}{d\theta_2} + \frac{d(PE)_3}{d\theta_2} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_3}{\partial\dot{\theta}_2} \right\} \\ &= -K_{32} + P_{32} + K_{32T} \\ K_{322} &= \partial(KE)_3 / \partial\dot{\theta}_2, K_{32T} = dK_{322} / dt\end{aligned}\quad (17)$$

(c) 関節 4 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{24} &= -\frac{d(KE)_4}{d\theta_2} + \frac{d(PE)_4}{d\theta_2} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_4}{\partial\dot{\theta}_2} \right\} \\ &= -K_{42} + P_{42} + K_{42T} \\ K_{422} &= \partial(KE)_4 / \partial\dot{\theta}_2, K_{42T} = dK_{422} / dt\end{aligned}\quad (18)$$

(d) 関節 5 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{25} &= -\frac{d(KE)_5}{d\theta_2} + \frac{d(PE)_5}{d\theta_2} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_5}{\partial\dot{\theta}_2} \right\} \\ &= -K_{52} + P_{52} + K_{52T} \\ K_{522} &= \partial(KE)_5 / \partial\dot{\theta}_2, K_{52T} = dK_{522} / dt\end{aligned}\quad (19)$$

(e) 関節6の影響

$$\begin{aligned}\tau_{26} &= -\frac{d(KE)_6}{d\theta_2} + \frac{d(PE)_6}{d\theta_2} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_6}{\partial\dot{\theta}_2} \right\} \\ &= -K_{62} + P_{62} + K_{62T} \\ K_{622} &= \partial(KE)_6 / \partial\dot{\theta}_2, \quad K_{62T} = dK_{622} / dt\end{aligned}\quad (20)$$

3) 関節3に働く全トルク τ_3 ($=\tau_{31} + \tau_{32} + \tau_{33} + \tau_{34} + \tau_{35} + \tau_{36}$)

$$\left. \begin{aligned}\tau_{31} &= -\frac{d(KE)_1}{d\theta_3} + \frac{d(PE)_1}{d\theta_3} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_1}{\partial\dot{\theta}_3} \right\} = 0 \\ \tau_{32} &= -\frac{d(KE)_2}{d\theta_3} + \frac{d(PE)_2}{d\theta_3} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_2}{\partial\dot{\theta}_3} \right\} = 0\end{aligned} \right\} \quad (21)$$

(a) 関節3の影響

$$\begin{aligned}\tau_{33} &= -\frac{d(KE)_3}{d\theta_3} + \frac{d(PE)_3}{d\theta_3} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_3}{\partial\dot{\theta}_3} \right\} \\ &= -K_{33} + P_{33} + K_{33T} \\ K_{333} &= \partial(KE)_3 / \partial\dot{\theta}_3, \quad K_{33T} = dK_{333} / dt\end{aligned}\quad (22)$$

(b) 関節4の影響

$$\begin{aligned}\tau_{34} &= -\frac{d(KE)_4}{d\theta_3} + \frac{d(PE)_4}{d\theta_3} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_4}{\partial\dot{\theta}_3} \right\} \\ &= -K_{43} + P_{43} + K_{43T} \\ K_{433} &= \partial(KE)_4 / \partial\dot{\theta}_3, \quad K_{43T} = dK_{433} / dt\end{aligned}\quad (23)$$

(c) 関節5の影響

$$\begin{aligned}\tau_{35} &= -\frac{d(KE)_5}{d\theta_3} + \frac{d(PE)_5}{d\theta_3} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_5}{\partial\dot{\theta}_3} \right\} \\ &= -K_{53} + P_{53} + K_{53T} \\ K_{533} &= \partial(KE)_5 / \partial\dot{\theta}_3, \quad K_{53T} = dK_{533} / dt\end{aligned}\quad (24)$$

(d) 関節6の影響

$$\begin{aligned}\tau_{36} &= -\frac{d(KE)_6}{d\theta_3} + \frac{d(PE)_6}{d\theta_3} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_6}{\partial\dot{\theta}_3} \right\} \\ &= -K_{63} + P_{63} + K_{63T} \\ K_{633} &= \partial(KE)_6 / \partial\dot{\theta}_3, \quad K_{63T} = dK_{633} / dt\end{aligned}\quad (25)$$

4) 関節4に働く全トルク τ_4 ($=\tau_{41} + \tau_{42} + \tau_{43} + \tau_{44} + \tau_{45} + \tau_{46}$)

$$\left. \begin{aligned}\tau_{41} &= -\frac{d(KE)_1}{d\theta_4} + \frac{d(PE)_1}{d\theta_4} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_1}{\partial\dot{\theta}_4} \right\} = 0 \\ \tau_{42} &= -\frac{d(KE)_2}{d\theta_4} + \frac{d(PE)_2}{d\theta_4} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_2}{\partial\dot{\theta}_4} \right\} = 0 \\ \tau_{43} &= -\frac{d(KE)_3}{d\theta_4} + \frac{d(PE)_3}{d\theta_4} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_3}{\partial\dot{\theta}_4} \right\} = 0\end{aligned} \right\} \quad (26)$$

(a) 関節 4 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{44} &= -\frac{d(\text{KE})_4}{d\theta_4} + \frac{d(\text{PE})_4}{d\theta_4} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(\text{KE})_4}{\partial\dot{\theta}_4} \right\} \\ &= -K_{44} + P_{44} + K_{44T} \\ K_{444} &= \partial(\text{KE})_4 / \partial\dot{\theta}_4, \quad K_{44T} = dK_{444} / dt\end{aligned}\quad (27)$$

(b) 関節 5 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{45} &= -\frac{d(\text{KE})_5}{d\theta_4} + \frac{d(\text{PE})_5}{d\theta_4} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(\text{KE})_5}{\partial\dot{\theta}_4} \right\} \\ &= -K_{54} + P_{54} + K_{54T} \\ K_{544} &= \partial(\text{KE})_5 / \partial\dot{\theta}_4, \quad K_{54T} = dK_{544} / dt\end{aligned}\quad (28)$$

(c) 関節 6 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{46} &= -\frac{d(\text{KE})_6}{d\theta_4} + \frac{d(\text{PE})_6}{d\theta_4} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(\text{KE})_6}{\partial\dot{\theta}_4} \right\} \\ &= -K_{64} + P_{64} + K_{64T} \\ K_{644} &= \partial(\text{KE})_6 / \partial\dot{\theta}_4, \quad K_{64T} = dK_{644} / dt\end{aligned}\quad (29)$$

5) 関節 5 に働く全トルク τ_5 ($=\tau_{51} + \tau_{52} + \tau_{53} + \tau_{54} + \tau_{55} + \tau_{56}$)

$$\left. \begin{aligned}\tau_{51} &= -\frac{d(\text{KE})_1}{d\theta_5} + \frac{d(\text{PE})_1}{d\theta_5} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(\text{KE})_1}{\partial\dot{\theta}_5} \right\} = 0 \\ \tau_{52} &= -\frac{d(\text{KE})_2}{d\theta_5} + \frac{d(\text{PE})_2}{d\theta_5} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(\text{KE})_2}{\partial\dot{\theta}_5} \right\} = 0 \\ \tau_{53} &= -\frac{d(\text{KE})_3}{d\theta_5} + \frac{d(\text{PE})_3}{d\theta_5} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(\text{KE})_3}{\partial\dot{\theta}_5} \right\} = 0 \\ \tau_{54} &= -\frac{d(\text{KE})_4}{d\theta_5} + \frac{d(\text{PE})_4}{d\theta_5} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(\text{KE})_4}{\partial\dot{\theta}_5} \right\} = 0\end{aligned} \right\} \quad (30)$$

(a) 関節 5 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{55} &= -\frac{d(\text{KE})_5}{d\theta_5} + \frac{d(\text{PE})_5}{d\theta_5} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(\text{KE})_5}{\partial\dot{\theta}_5} \right\} \\ &= -K_{55} + P_{55} + K_{55T} \\ K_{555} &= \partial(\text{KE})_5 / \partial\dot{\theta}_5, \quad K_{55T} = dK_{555} / dt\end{aligned}\quad (31)$$

(b) 関節 6 の影響

$$\begin{aligned}\tau_{56} &= -\frac{d(\text{KE})_6}{d\theta_5} + \frac{d(\text{PE})_6}{d\theta_5} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(\text{KE})_6}{\partial\dot{\theta}_5} \right\} \\ &= -K_{65} + P_{65} + K_{65T} \\ K_{655} &= \partial(\text{KE})_6 / \partial\dot{\theta}_5, \quad K_{65T} = dK_{655} / dt\end{aligned}\quad (32)$$

6) 関節 6 に働く全トルク τ_6 ($=\tau_{61} + \tau_{62} + \tau_{63} + \tau_{64} + \tau_{65} + \tau_{66}$)

$$\left. \begin{aligned}
 \tau_{61} &= -\frac{d(KE)_1}{d\theta_6} + \frac{d(PE)_1}{d\theta_6} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_1}{\partial \dot{\theta}_6} \right\} = 0 \\
 \tau_{62} &= -\frac{d(KE)_2}{d\theta_6} + \frac{d(PE)_2}{d\theta_6} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_2}{\partial \dot{\theta}_6} \right\} = 0 \\
 \tau_{63} &= -\frac{d(KE)_3}{d\theta_6} + \frac{d(PE)_3}{d\theta_6} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_3}{\partial \dot{\theta}_6} \right\} = 0 \\
 \tau_{64} &= -\frac{d(KE)_4}{d\theta_6} + \frac{d(PE)_4}{d\theta_6} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_4}{\partial \dot{\theta}_6} \right\} = 0 \\
 \tau_{65} &= -\frac{d(KE)_5}{d\theta_6} + \frac{d(PE)_5}{d\theta_6} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_5}{\partial \dot{\theta}_6} \right\} = 0
 \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

(a) 関節6の影響

$$\begin{aligned}
 \tau_{66} &= -\frac{d(KE)_6}{d\theta_6} + \frac{d(PE)_6}{d\theta_6} + \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial(KE)_6}{\partial \dot{\theta}_6} \right\} \\
 &= -K_{66} + P_{66} + K_{66T} \\
 K_{66} &= \partial(KE)_6 / \partial \dot{\theta}_6, \quad K_{66T} = dK_{66} / dt
 \end{aligned} \quad (34)$$

以上が6リンク・マニピュレータの6つの駆動関節に働くトルク τ_1, \dots, τ_6 を分割して計算する手順であり、Table 1 がそのまとめである。空白は零となるため予め計算から取除いておく。例えば、関節1に作用するトルク τ_1 は、 τ_{11} から τ_{16} までの6つの式を計算してそれを加え、 τ_6 の計算は(34)の τ_{66} だけを計算すればよいことになる。導き出された6組の動特性方程式は、さらにベクトルと行列表示を使ってつぎのように1つにまとめて表現できる。

$$\tau = J\ddot{\theta} + A\dot{\theta}^2 + \overline{\Sigma}\ddot{\theta}\dot{\theta} + G(\theta) \quad (35)$$

ここで、

$$\text{関節ベクトル} \quad \theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6)^T \quad [\text{radian}] \quad (36)$$

$$\text{関節速度ベクトル} \quad \dot{\theta} = (\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3, \dot{\theta}_4, \dot{\theta}_5, \dot{\theta}_6)^T \quad [\text{radian/s}] \quad (37)$$

$$\text{関節加速度ベクトル} \quad \ddot{\theta} = (\ddot{\theta}_1, \ddot{\theta}_2, \ddot{\theta}_3, \ddot{\theta}_4, \ddot{\theta}_5, \ddot{\theta}_6)^T \quad [\text{radian/s}^2] \quad (38)$$

$$\text{駆動トルク} \quad \tau = (\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6)^T \quad [\text{N-m}] \quad (39)$$

$$\text{重力ベクトル} \quad G(\theta) = g(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)^T \quad [\text{N-m}] \quad (40)$$

$$\text{重力加速度} \quad g = 9.80665 \quad [\text{m/s}^2]$$

求心力の速度ベクトル

$$\dot{\theta}^2 = (\dot{\theta}_1^2, \dot{\theta}_2^2, \dot{\theta}_3^2, \dot{\theta}_4^2, \dot{\theta}_5^2, \dot{\theta}_6^2)^T \quad [(\text{rad/s})^2] \quad (41)$$

コリオリの速度ベクトル (15次元)

$$\begin{aligned}
 \overline{\theta}\dot{\theta} = & (\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2, \dot{\theta}_1\dot{\theta}_3, \dot{\theta}_1\dot{\theta}_4, \dot{\theta}_1\dot{\theta}_5, \dot{\theta}_1\dot{\theta}_6, \\
 & \dot{\theta}_2\dot{\theta}_3, \dot{\theta}_2\dot{\theta}_4, \dot{\theta}_2\dot{\theta}_5, \dot{\theta}_2\dot{\theta}_6, \\
 & \dot{\theta}_3\dot{\theta}_4, \dot{\theta}_3\dot{\theta}_5, \dot{\theta}_3\dot{\theta}_6, \\
 & \dot{\theta}_4\dot{\theta}_5, \dot{\theta}_4\dot{\theta}_6, \\
 & \dot{\theta}_5\dot{\theta}_6)^T \quad [(\text{rad/s})^2] \quad (42)
 \end{aligned}$$

慣性係数マトリクス (Matrix of inertia coefficient)

$$J = \begin{pmatrix} J_{11} & J_{12} & \cdots & J_{16} \\ J_{21} & J_{22} & \cdots & J_{26} \\ & & \cdots & \\ & & & J_{56} \\ J_{61} & J_{62} & \cdots & J_{66} \end{pmatrix} \quad \text{慣性モーメント [kg-m}^2\text{]} \quad (43)$$

求心力の係数マトリクス (Matrix of centripetal coefficient)

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{26} \\ & & \cdots & \\ & & & A_{56} \\ A_{61} & A_{62} & \cdots & A_{66} \end{pmatrix} \quad (44)$$

コリオリ係数マトリクス (Matrix of Coriolis coefficient)

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1N} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2N} \\ & & \cdots & \\ & & & \sigma_{5N} \\ \sigma_{61} & \sigma_{62} & \cdots & \sigma_{6N} \end{pmatrix} \quad N=5 \times 6 / 2 = 15 \quad (45)$$

このように、マニピュレータの動特性方程式は6つの干渉し合った連立非線形微分方程式から構成される。今回の計算では、各軸に作用するトルクを(35)式の形にまとめ、付録Bには各行列の要素(J_{ij} , A_{ij} , σ_{ik} , g_{xi})を掲載した。

3. 結果と要約

多関節形マニピュレータは複雑な力学系を構成し、これを制御するには、動力学的問題は避けて通れない。系を支配する微分方程式を系統的に決定することは、複雑な動特性解析を実現する第1歩である。このために、今回、Lagrangeの力学方程式に基づく6リンク・マニピュレータの動特性モデルを数式処理言語REDUCEを用いて誘導した。通常、3ないし4自由度までは手計算で導出され、正確な運動特性を究明するために利用できるが、それを超えると飛躍的に計算量が増大するため、この直接的なアプローチは計算機を利用しても容量、CPU時間などの制約をうけてなかなか実現が難しい。今回扱った6自由度のマニピュレータに対しては、6個のトルクを計算する過程で、一度に処理を行えば、計算不可能(メモリオーバ)となるため、各過程をいくつかに細分化して、最後にそれらを整理統合した。付録Bに方程式を構成する要素を係数ごとにまとめて記述した。例えば、6×6慣性行列Jは対称行列になることがマニピュレータの運動力学でよく知られているが、この付録における計算結果も同じ対称性が記述されていることがわかる。また、指先に与えた負荷が各関節を駆動するトルクへどのような変動荷重となって影響するかといったことも容易に追跡できる。(43)で定めた J_{ii} ($i=1, 6$)は関節 i の加速度が関節 i においてトルク $J_{ii}\ddot{\theta}_i$ を発生させるもので、関節 i における有効慣性と呼ばれる。また、 J_{ij} ($i \neq j$)は関節 i の加速度が関節 j においてトルク $J_{ij}\ddot{\theta}_i$ [または関節 j の加速度が関節 i においてトルク $J_{ij}\ddot{\theta}_j$]を発生させるので、関節 i, j 間の相互慣性と呼ぶ。(44)の A_{ij} は関節 j における速度により関節 i に生じる求心力である。この場合、全関節が関節 i に与える求心力は、 $A_{i1}\dot{\theta}_1^2 + A_{i2}\dot{\theta}_2^2 + \dots + A_{i6}\dot{\theta}_6^2$ となる。

一方、関節間に発生するコリオリの力は若干複雑で(42)と(45)の表現から明らかになる。例えば、全関節の速度が第1軸に与えるコリオリの力は合計してつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \tau_1^{cor} = & \sigma_{11}\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \sigma_{12}\dot{\theta}_1\dot{\theta}_3 + \sigma_{13}\dot{\theta}_1\dot{\theta}_4 + \sigma_{14}\dot{\theta}_1\dot{\theta}_5 + \sigma_{15}\dot{\theta}_1\dot{\theta}_6 + \\ & \sigma_{16}\dot{\theta}_2\dot{\theta}_3 + \sigma_{17}\dot{\theta}_2\dot{\theta}_4 + \sigma_{18}\dot{\theta}_2\dot{\theta}_5 + \sigma_{19}\dot{\theta}_2\dot{\theta}_6 + \\ & \sigma_{1,10}\dot{\theta}_3\dot{\theta}_4 + \sigma_{1,11}\dot{\theta}_3\dot{\theta}_5 + \sigma_{1,12}\dot{\theta}_3\dot{\theta}_6 + \\ & \sigma_{1,13}\dot{\theta}_4\dot{\theta}_5 + \sigma_{1,14}\dot{\theta}_4\dot{\theta}_6 + \\ & \sigma_{1,15}\dot{\theta}_5\dot{\theta}_6 \end{aligned}$$

ここで、 σ_{11} は関節1と2の速度が関節1に作用するコリオリ係数で、また、 σ_{21} 、 σ_{51} などは関節1と2の速度が関節2や関節5に与えるコリオリ力の係数となる。最後に、 g_{x1} は重力により関節 i に作用するトルクである。

以上、マニピュレータの動特性方程式が如何に複雑であるかを計算過程と結果を通して学びとったが、このような複雑な式ゆえに、より簡潔な計算アルゴリズムの開発がなによりも必要であることを強く実感した。このために今後の課題としては、方程式の各項のなかで重要な因子を解析や基礎実験により取捨選択することが急務となり、妥当な簡略化が実施されれば、制御問題に対しても極めて有益な情報を提供するであろう。

参 考 文 献

- 1) R.P. Paul: "Robot Manipulators; Mathematics, Programming and Control", The MIT Press, (1981).
- 2) P. Coiffet: "Robot Technology; Modelling and Control", vol.1, Englewood Cliffs, Prentice-Hall (1983).
- 3) M. Vukobratovic et al.: "Dynamics of Manipulation Robots / Theory and Application", Springer-Verlag (1982).
- 4) W.E. Snyder: "Industrial Robots", Prentice-Hall, (1985).
- 5) A.C. Hearn: REDUCE User's Manual Version 3.0, Rand Corporation, Apr. (1983).
- 6) J. Denavit & R.S. Hartenberg: "A Kinematic Notation for Low-Pair Mechanism Based on Matrices", Trans. ASME, J. of Applied Mechanism, Jun. (1955).

謝 辞

本研究の機会を与え、また、本報作成のうえでいくつかのアドバイスをいただいた原子炉制御研究室篠原室長、ならびに、本計算における REDUCE の取扱い方について有益な助言をいただいた計算センターの横川氏に深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) R.P. Paul: "Robot Manipulators; Mathematics, Programming and Control", The MIT Press, (1981).
- 2) P. Coiffet: "Robot Technology; Modelling and Control", vol.1, Englewood Cliffs, Prentice-Hall (1983).
- 3) M. Vukobratovic et al.: "Dynamics of Manipulation Robots / Theory and Application", Springer-Verlag (1982).
- 4) W.E. Snyder: "Industrial Robots", Prentice-Hall, (1985).
- 5) A.C. Hearn: REDUCE User's Manual Version 3.0, Rand Corporation, Apr. (1983).
- 6) J. Denavit & R.S. Hartenberg: "A Kinematic Notation for Low-Pair Mechanism Based on Matrices", Trans. ASME, J. of Applied Mechanism, Jun. (1955).

謝 辞

本研究の機会を与え、また、本報作成のうえでいくつかのアドバイスをいただいた原子炉制御研究室篠原室長、ならびに、本計算における REDUCE の取扱い方について有益な助言をいただいた計算センターの横川氏に深謝いたします。

Table 1 Computational Contents of Each Torque

トルク τ_1	τ_{11}	τ_{12}	τ_{13}	τ_{14}	τ_{15}	τ_{16}
トルク τ_2		τ_{22}	τ_{23}	τ_{24}	τ_{25}	τ_{26}
トルク τ_3			τ_{33}	τ_{34}	τ_{35}	τ_{36}
トルク τ_4				τ_{44}	τ_{45}	τ_{46}
トルク τ_5					τ_{55}	τ_{56}
トルク τ_6						τ_{66}

Table 2 Link Parameters for a Six-Link Manipulator

関節	関節角	ねじれ角 α_i		リンク長さ a_i		x-軸間の距離 d_i	
1	θ_1	α_1	-90°	a_1	0 (mm)	d_1	700 (mm)
2	θ_2	α_2	0°	a_2	500 (mm)	d_2	0 (mm)
3	θ_3	α_3	90°	a_3	0 (mm)	d_3	0 (mm)
4	θ_4	α_4	-90°	a_4	0 (mm)	d_4	350 (mm)
5	θ_5	α_5	-90°	a_5	150 (mm)	d_5	0 (mm)
6	θ_6	α_6	0°	a_6	280 (mm)	d_6	-115 (mm)

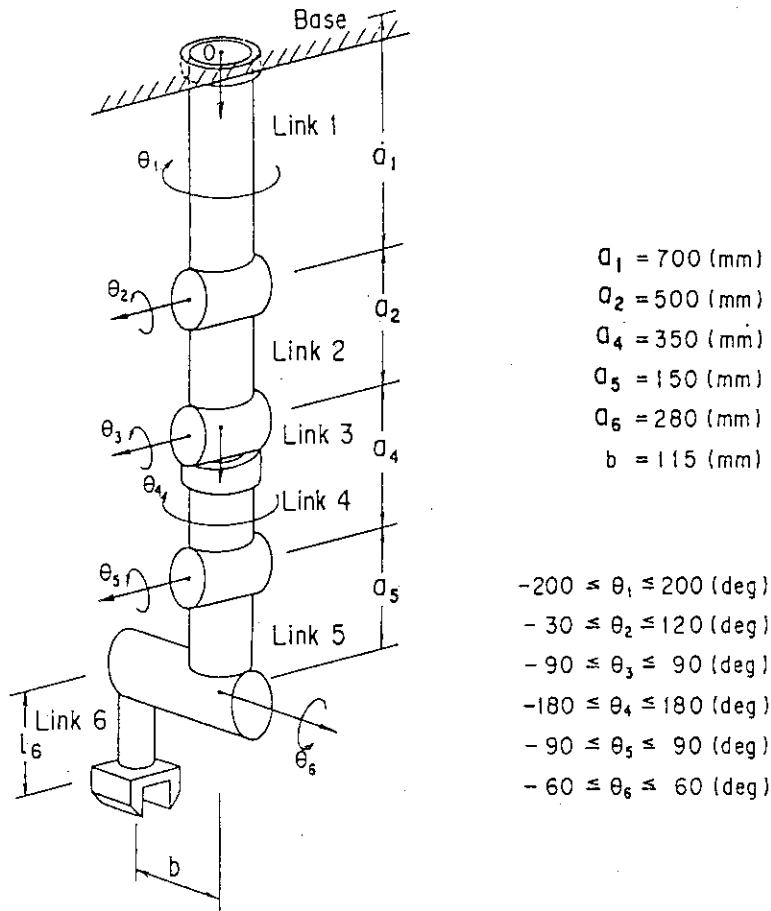


Fig. 1 A Six-Link Manipulator Studied

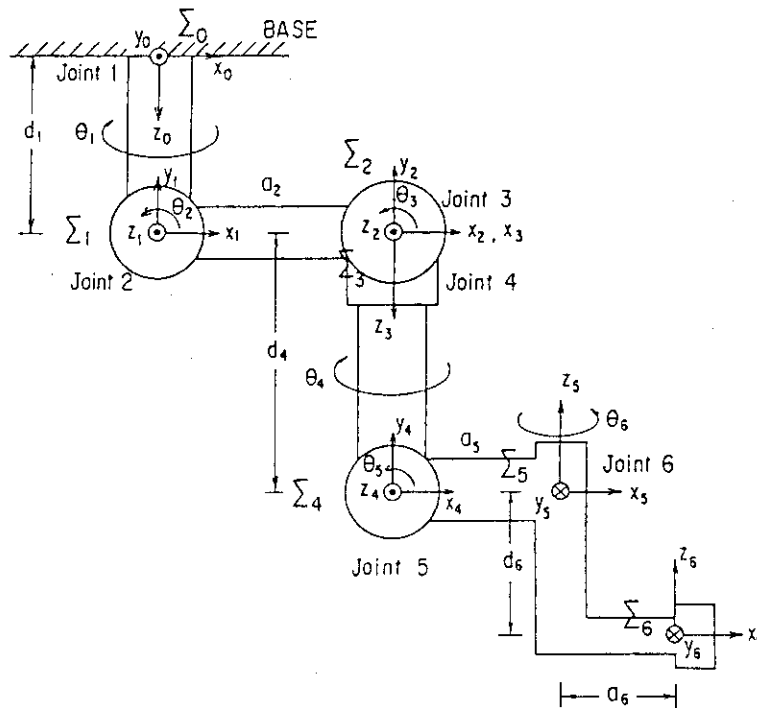


Fig. 2 Definition of Link Co-ordinate Systems

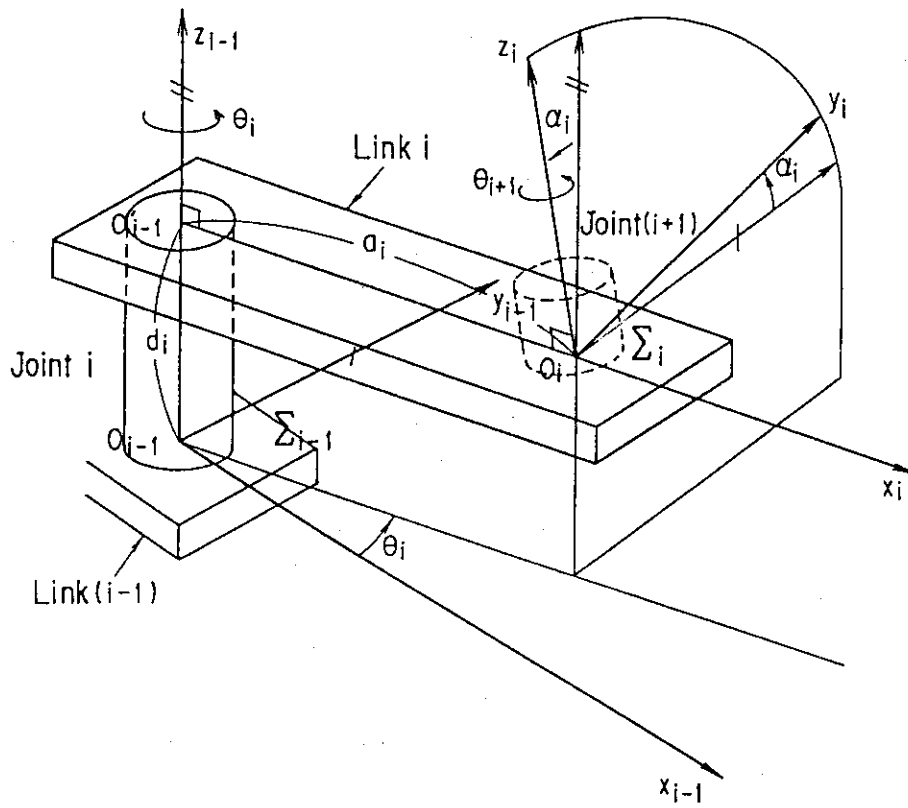


Fig. 3 Kinematic Relation Between Link i-1 and Link i

付 録

- A. マニピュレータリンク機構の位置・姿勢表現
 - (1) Denavit-Hartenberg 記法による隣接リンク間の関係
 - (2) 6リンク・マニピュレータへ適用した同次座標変換行列 (A_i 行列)

- B. 6リンク・マニピュレータに対する動特性方程式

付録A マニピュレータリンク機構の位置・姿勢表現

(1) Denavit-Hartenberg 記法による隣接リンク間の関係

マニピュレータの手先の空間運動を解析するためには、まず各リンクに直交座標系 x_i, y_i, z_i を設定することが必要である。この座標系をリンク座標系と呼び、 Σ_i で表現する。 Σ_i は、原点 O_i の位置と各直交座標軸の単位方向ベクトル n_i, o_i, a_i により表すことができる。リンク座標系の選び方として最も普及している Denavit-Hartenberg の方法を採用する。

まず最初に、台座(ベース)を固定したリンク 0 とし、そこから手先に向けて 1, 2, 3, ... と番号をつけ、リンク間をつなぐ関節に対しても、台座に近い側から先端に向けて、1, 2, 3, ... と番号をつける。関節 $i+1$ の回転を z_i - 軸とし、 z_{i-1} - 軸と z_i - 軸との共通法線が z_i - 軸と交わる点を O_i とする。そして、この共通法線を z_i - 軸の側へ延長した方向に x_i - 軸をとり、 y_i - 軸はリンク座標系 $O_i - x_i y_i z_i$ が右手系となるように定める。

Fig. 3 は第 $i-1$ 番目のリンクに固定した座標系 Σ_{i-1} (すなわち、関節 i の座標系) と第 i 番目のリンクに固定した座標系 Σ_i (すなわち、関節 $i+1$ の座標系) の関係を示したものである。各リンク座標系間の位置関係は、図に示した 4 つのリンクパラメータ $\theta_i, \alpha_i, a_i, d_i$ により表される。用いる記号を要約すると、

Σ_{i-1} : 関節 i における座標系 ($x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}$)。

θ_i : 関節 i における回転角 (右ねじの方向 (反時計方向) を正とする。)

z_{i-1} : リンク $i-1$ とリンク i との間の関節 i が、回転運動を行う軸。

x_{i-1} : z_{i-2} - 軸と z_{i-1} - 軸間の共通法線に合わせ、関節 $i-1$ から関節 i の方向に向いた軸。

y_{i-1} : z_{i-1} - 軸と x_{i-1} - 軸から右手座標系として定める軸。

α_i : 正の z_{i-1} - 軸から正の z_i - 軸へ反時計方向 (正) のねじれ角度。

d_i : 正の z_{i-1} - 方向に沿って測った軸 x_{i-1} と x_i 間の距離。

a_i : 正の x_{i-1} - 方向 (すなわち、 x_i - 方向) に沿って測った軸 z_{i-1} と z_i 間の共通法線距離 (リンク長さ)。

である。

リンク座標系 Σ_i が定義されると、各座標系間の相対位置関係を解析することにより、マニピュレータの運動を解析できる。Fig. 3 を参考にして、座標系 Σ_{i-1} と Σ_i の間の位置関係は、次の 4 つの操作で確定する。

- i) z_{i-1} - 軸のまわりに θ_i だけ回転する。
- ii) z_{i-1} - 軸の正方向に沿って距離 d_i だけ並進する。
- iii) 回転後の x_{i-1} - 軸に沿って、正方向に長さ a_i の並進を行い、 x_i - 軸を定める。
- iv) x_i - 軸のまわりにねじれ角 α_i だけ回転する。

以上のステップを定式化すると、 Σ_i から Σ_{i-1} への座標変換行列 A_i が次のようにして導き出せる。

$$\begin{aligned}
 A_i &= \text{Rot}(z_{i-1}, \theta_i) \text{Trans}(0, 0, d_i) \text{Trans}(a_i, 0, 0) \text{Rot}(x_i, \alpha_i) \\
 &= \begin{vmatrix} c_i & -s_i & 0 & 0 \\ s_i & c_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \\
 &= \begin{vmatrix} c_i & -s_i \cos \alpha_i & s_i \sin \alpha_i & a_i c_i \\ s_i & c_i \cos \alpha_i & -c_i \sin \alpha_i & a_i s_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \tag{A.1}
 \end{aligned}$$

nリンク・マニピュレータのリンク機構を行列 A_i を用いて組織的に解析する場合、各リンクパラメータ α_i, a_i, d_i を既知として与え、n個の4×4行列を右側から順次掛合わせると、基準座標系に対する手先の位置・姿勢関係が引出せる。つまり、行列積 $A_1 A_2 \cdots A_n$ の各要素がn個の関節変数 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ の関数として記述される。

(2) 6リンク・マニピュレータへ適用した同次座標変換行列 (A_i 行列)

前述の関係式 (A.1) を Fig. 1 に示した6リンク・マニピュレータへ適用を試みる。まず、各リンク上へ座標系を設定するに当たって、 A_i 行列の一般式が適用出来るためにマニピュレータの各関節角を零とした姿勢(零位置あるいは初期状態と呼ぶ。)を場合によっては多少変更する必要がある。マニピュレータの零位置と計算モデル上の基本姿勢の間に相違があっても同一の順問題として取扱いが可能なのは、マニピュレータの根元に対する手先の機構学的位置関係が相対的な関係にあるからである。

以下、Fig. 1 に代わる Fig. 2 でもってその説明を行う。

1) 第1関節

- (a) 台座に固定した座標系 Σ_0 は回転軸 z_0 を垂直下方に、また x_0 -軸を原点から図のように右方向正と定める。まず、 z_0 -軸のまわりに角度 θ_1 だけ回転する。
- (b) z_0 -方向へ d_1 の並進を行う。
- (c) x_0 -方向への並進を零とする。
- (d) z_0 -軸を x_0 -軸のまわりに -90° 回転して(ねじれ角度 $\alpha_1 = -90^\circ$) 新しく z_1 -軸を定める。

2) 第2関節

- (a) x_1 -軸を x_0 -軸と同一方向に定め、また上の z_1 -軸の指定から Σ_1 が決定するが、しかし、この関節と次の第3関節との位置関係を調べると、Fig. 1 が示すように第3関節は第2関節から a_2 だけ真下にある。これは座標 y_1 -方向へ $-a_2$ の平行移動を意味するが、前述の A_i 行列に対する関係式 (A.1) を適用する場合、関節を z_0 -軸のまわりに回転した後 z -軸および x -軸に沿って並進させるステップ (ii), (iii) が含まれているため、 Σ_1 の下方にリンク座標系を選ぶことはできない。第2関節にはオフセット機構がない(すなわち、 $d_2 = 0$) ため、 x_1 -方向へリンクの連鎖を展開できる。そこで実在の第2リンク以下を図のように 90° 右まわりに回転して水平方向の x_1 -軸と一致させる。これを関節2につながるリンク2の

基本姿勢とする。

- (b) z_1 -軸を回転軸として θ_2 だけ回転する。(実際の零位置から換算するとそのとりうる値は、 $\theta_2 + 90^\circ$ である。)
- (c) x_1 -方向へ a_2 だけ並進する。(z_1 -方向への移動は零とする。)
- (d) z_1 -軸から z_2 -軸へのねじれ角度 0° とした上で第3関節の座標系 $\Sigma_2(x_2, y_2, z_2)$ を定める。

3) 第3関節

- (a) Σ_2 を定めた後、これに続く第4関節の回転軸は第3関節の x_2 -方向に一致することになる。式(A.1)の仮定では、回転軸を z -方向と規定して関係式を導いているため、Fig. 2 のように 90° だけリンクを逆回転させ、 z_3 -軸を垂直下方に、また、 x_3 -軸と x_2 -軸が同一方向となる座標系 $\Sigma_3(x_3, y_3, z_3)$ を選ぶ。
- (b) 回転軸 z_2 のまわりに θ_3 の回転を与える。(実際の零位置から換算するとそのとりうる値は、 $\theta_3 - 90^\circ$ である。)
- (c) 第3、第4関節は互いに隣接しているため x_2 -方向および z_2 -方向への並進は零となる。
- (d) z_3 -軸は、 z_2 -軸を x_2 -軸のまわりに 90° 回転(ねじれ角度 $\alpha_3 = 90^\circ$) したものである。

4) 第4関節

- (a) 軸 z_3 のまわりに θ_4 の回転を与える。
- (b) この軸に沿って d_4 だけ並進する。
- (c) x_3 -軸に沿っての並進は零とする。
- (d) z_3 -軸を x_3 -軸のまわりに -90° 回転させ、 z_4 -軸を得る。(ねじれ角度 $\alpha_4 = -90^\circ$)

5) 第5関節

- (a) 上の z_4 -軸および x_3 -軸と同一方向の x_4 -軸から、右手座標系 $\Sigma_4(x_4, y_4, z_4)$ が決定するが、次の関節に対して第2関節の(a)で述べたと同様の理由により、リンク5を 90° 正方向に回転し、もとの x_4 -方向に a_5 だけ並進した位置が原点となる座標系 $\Sigma_5(x_5, y_5, z_5)$ を設定する。図で右方向に x_5 -軸、上方に z_5 -軸がくる。
- (b) z_4 -軸を θ_5 だけ回転する。(実際の零位置から換算するとその取り得る値は、 $\theta_5 + 90^\circ$ である。)
- (c) x_4 -方向に a_5 だけ並進し、また z_4 -軸に沿っての移動は零とする。
- (d) z_4 -軸から z_5 -軸へのねじれ角度 α_5 は -90° である。

6) 第6関節

- (a) z_5 -軸を中心に角度 θ_6 だけ回転する。
- (b) z_5 -軸の正方向にオフセット分 d_6 だけ並進し、続いて x_5 -軸と平行に共通法線距離 a_6 だけ移動させて、手先の座標系 $\Sigma_6(x_6, y_6, z_6)$ を定める。
- (c) z_5 -軸から z_6 -軸へのねじれ角度 α_6 は零とする。

以上の説明から、マニピュレータのリンク・パラメータは Table 2 に、また各 A_i 行列は以下のように与えられる。

$$A_1 = \begin{vmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (\text{A.2})$$

$$A_2 = \begin{vmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & a_2 c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & a_2 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (\text{A.3})$$

$$A_3 = \begin{vmatrix} c_3 & 0 & s_3 & 0 \\ s_3 & 0 & -c_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (\text{A.4})$$

$$A_4 = \begin{vmatrix} c_4 & 0 & -s_4 & 0 \\ s_4 & 0 & c_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (\text{A.5})$$

$$A_5 = \begin{vmatrix} c_5 & 0 & -s_5 & a_5 c_5 \\ s_5 & 0 & c_5 & a_5 s_5 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (\text{A.6})$$

$$A_6 = \begin{vmatrix} c_6 & -s_6 & 0 & a_6 c_6 \\ s_6 & c_6 & 0 & a_6 s_6 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (\text{A.7})$$

$$A_1 A_2 = \begin{vmatrix} c_1 c_2 & -s_2 c_1 & -s_1 & a_2 c_1 c_2 \\ s_1 c_2 & -s_1 s_2 & c_1 & a_2 s_1 c_2 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & -a_2 s_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$A_1 A_2 A_3 = \begin{vmatrix} c_1 c_{23} & -s_1 & s_{23} c_1 & a_2 c_1 c_2 \\ s_1 c_{23} & c_1 & s_1 s_{23} & a_2 s_1 c_2 \\ -s_{23} & 0 & c_{23} & d_1 - a_2 s_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$A_1 A_2 A_3 A_4 = \begin{vmatrix} C_1 C_{23} C_4 - S_1 S_4 & -S_{23} C_1 & -S_4 C_1 C_{23} - S_1 C_4 & d_4 S_{23} C_1 + a_2 C_1 C_2 \\ S_1 C_{23} C_4 + S_4 C_1 & -S_1 S_{23} & -S_1 S_4 C_{23} + C_1 C_4 & d_4 S_1 S_{23} + a_2 S_1 C_2 \\ -S_{23} C_4 & -C_{23} & S_{23} S_4 & d_4 C_{23} + d_1 - a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 =$$

$$\begin{vmatrix} C_1 C_{23} C_4 C_5 - S_1 S_4 C_5 - S_{23} S_5 C_1 & S_4 C_{23} + S_1 C_4 \\ S_1 C_{23} C_4 C_5 + S_4 C_1 C_5 - S_1 S_{23} S_5 & S_1 S_4 C_{23} - C_1 C_4 \\ -S_{23} C_4 C_5 - S_5 C_{23} & -S_{23} S_4 \\ 0 & 0 \\ -S_5 C_1 C_{23} C_4 + S_1 S_4 S_5 - S_{23} C_1 C_5 & a_5 (C_1 C_{23} C_4 C_5 - S_1 S_4 C_5 - S_{23} S_5 C_1) + d_4 S_{23} C_1 + a_2 C_1 C_2 \\ -S_1 S_5 C_{23} C_4 - S_4 S_5 C_1 - S_1 S_{23} C_5 & a_5 (S_1 C_{23} C_4 C_5 + S_4 C_1 C_5 - S_1 S_{23} S_5) + d_4 S_1 S_{23} + a_2 S_1 C_2 \\ S_{23} S_5 C_4 - C_{23} C_5 & -a_5 (S_{23} C_4 C_5 + S_5 C_{23}) + d_4 C_{23} + d_1 - a_2 S_2 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} A & B & U & X_1 \\ C & D & V & Y_1 \\ E & F & W & Z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

ここに、各パラメータは、

$$A = C_1 C_{23} C_4 C_5 - S_1 S_4 C_5 - S_{23} S_5 C_1$$

$$B = S_4 C_1 C_{23} + S_1 C_4$$

$$C = S_1 C_{23} C_4 C_5 + S_4 C_1 C_5 - S_1 S_{23} S_5$$

$$D = S_1 S_4 C_{23} - C_1 C_4$$

$$E = -S_{23} C_4 C_5 - S_5 C_{23}$$

$$F = -S_{23} S_4$$

$$U = CF - DE = -S_5 C_1 C_{23} C_4 + S_1 S_4 S_5 - S_{23} C_1 C_5 = a_x,$$

$$V = BE - AF = -S_1 S_5 C_{23} C_4 - S_4 S_5 C_1 - S_1 S_{23} C_5 = a_y,$$

$$W = AD - BC = S_{23} S_5 C_4 - C_{23} C_5 = a_z$$

$$X_1 = a_5 (C_1 C_{23} C_4 C_5 - S_1 S_4 C_5 - S_{23} S_5 C_1) + d_4 S_{23} C_1 + a_2 C_1 C_2$$

$$Y_1 = a_5 (S_1 C_{23} C_4 C_5 + S_4 C_1 C_5 - S_1 S_{23} S_5) + d_4 S_1 S_{23} + a_2 S_1 C_2$$

$$Z_1 = -a_5 (S_{23} C_4 C_5 + S_5 C_{23}) + d_4 C_{23} + d_1 - a_2 S_2$$

となる。従って、台座に関するマニピュレータ先端の表示は、

(A.8)

$$T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$$

$$= \begin{pmatrix} A & B & U & X_1 \\ C & D & V & Y_1 \\ E & F & W & Z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_6 & -s_6 & 0 & a_6 c_6 \\ s_6 & c_6 & 0 & a_6 s_6 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{A.9})$$

$$= \begin{pmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

で与えられる。すなわち、

$$n_x = A c_6 + B s_6 \quad (\text{A.10})$$

$$n_y = C c_6 + D s_6 \quad (\text{A.11})$$

$$n_z = E c_6 + F s_6 \quad (\text{A.12})$$

$$o_x = -A s_6 + B c_6 \quad (\text{A.13})$$

$$o_y = -C s_6 + D c_6 \quad (\text{A.14})$$

$$o_z = -E s_6 + F c_6 \quad (\text{A.15})$$

$$a_x = CF - DE = -s_5 c_1 c_{23} c_4 + s_1 s_4 s_5 - s_{23} c_1 c_5 \quad (\text{A.16})$$

$$a_y = BE - AF = -s_1 s_5 c_{23} c_4 - s_4 s_5 c_1 - s_1 s_{23} c_5 \quad (\text{A.17})$$

$$a_z = AD - BC = s_{23} s_5 c_4 - c_{23} c_5 \quad (\text{A.18})$$

$$P_x = a_6 (A c_6 + B s_6) + d_6 a_x + A a_5 + d_4 s_{23} c_1 + a_2 c_1 c_2$$

$$= a_6 n_x + A a_5 + d_6 a_x + d_4 s_{23} c_1 + a_2 c_1 c_2 \quad (\text{A.19})$$

$$P_y = a_6 (C c_6 + D s_6) + d_6 a_y + C a_5 + d_4 s_1 s_{23} + a_2 s_1 c_2$$

$$= a_6 n_y + C a_5 + d_6 a_y + d_4 s_1 s_{23} + a_2 s_1 c_2 \quad (\text{A.20})$$

$$P_z = a_6 (E c_6 + F s_6) + d_6 a_z + E a_5 + d_4 c_{23} + d_1 - a_2 s_2$$

$$= a_6 n_z + E a_5 + d_6 a_z + d_4 c_{23} + d_1 - a_2 s_2 \quad (\text{A.21})$$

これが Fig. 2 の座標系を基準にして導いたマニピュレータの台座と指先間の位置・姿勢の関係式である。

付録B 6リンク・マニピュレータに対する動特性方程式

(1) τ_1 に関する内容

$$\begin{aligned}
 J_{11} = & C2^2 * M2 * A2^2 + C2^2 * M3 * A2^2 + M4 * (-A2 * S2^2 + A2^2 + 2 * A2 * D4 * S23 * C2 + D4 * S23^2) + \\
 & M5 * (-2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4^2 - A5^2 * S23^2 * S5 * S4^2 + 2 * A5 * S23 * S5 * S4 + A5 * S23^2 * S4^2 - A5 * S23^2 * S4^2 + A5^2 * S5^2 + A5^2 * \\
 & 2 * A5 * A2 * C23 * C5 * C4 * C2 - 2 * A5 * A2 * S23 * S5 * C2 + 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * C5 * C4 - 2 * A5 * D4 * S23 * S5 - A2 * S2^2 + A2^2 + 2 * A2 * \\
 & D4 * S23 * C2 + D4^2 * S23^2) + \\
 & M6 * (-2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 - A5^2 * S23^2 * S5 * S4^2 + 2 * A5 * S23 * S5^2 * S4 + 2 * A5 * S23^2 * S5^2 - A5 * S23^2 * S4^2 + A5^2 * S5^2 + A5^2 * \\
 & 2 * A5 * A2 * C23 * C5 * C4 * C2 - 2 * A5 * A2 * S23 * S5 * C2 + 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * C5 * C4 - 2 * A5 * D4 * S23 * S5 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 \\
 & * C4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 4 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 * D6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * S5 * S4 * A6 \\
 & + 4 * A5 * S23^2 * C6 * S5 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * C5 * \\
 & S5 * S4 * D6 + 4 * A5 * S23^2 * C5 * S5 * D6 - 2 * A5 * C6 * S5 * A6 + 2 * A5 * C6 * A6 - 2 * A5 * C5 * S5 * D6 - A2 * S2^2 + A2^2 + 2 * A2 * D4 * S23 \\
 & * C2 + 2 * A2 * C23 * C6 * C5 * C4 * C2 * A6 + 2 * A2 * C23 * S6 * S4 * C2 * A6 - 2 * A2 * C23 * S5 * C4 * C2 * D6 - 2 * A2 * S23 * C6 * S5 * C2 * A6 - 2 * A2 * \\
 & S23 * C5 * C2 * D6 + D4^2 * S23^2 + 2 * D4 * C23 * S23 * C6 * C5 * C4 * A6 + 2 * D4 * C23 * S23 * S6 * S4 * A6 - 2 * D4 * C23 * S23 * S5 * C4 * D6 - 2 * D4 * \\
 & S23^2 * C6 * S5 * A6 - 2 * D4 * S23^2 * C5 * D6 - 2 * C23 * S23 * C6 * S6 * S5 * S4 * A6 + 4 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * D6 * A6 - 2 * C23 * S23 * C6 * C4 * \\
 & D6 * A6 + 2 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * C4 * A6^2 - 2 * C23 * S23 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 + 2 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6^2 - 2 * C23 * S23 * C5 * S5 * \\
 & C4 * A6^2 - 2 * S23^2 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 - 2 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * S4^2 * D6 * A6 + 4 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 + S23^2 * S6 * S5 * S4 * \\
 & A6^2 - 2 * S23^2 * S6 * S5 * A6^2 - 2 * S23^2 * S6 * S4 * A6 + S23^2 * S6 * A6^2 + 2 * S23^2 * S6 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 + S23^2 * S5 * S4 * D6 *
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - S23 * S5 * S4 * A6^2 - 2 * S23 * S5 * D6^2 + 2 * S23 * S5 * A6^2 + S23 * S4 * A6^2 + S23 * D6^2 - S23 * A6^2 - 2 * C6 * C5 * S5 * D6^2 \\
 & * A6^2 + S6 * S5 * A6^2 + S5 * D6^2 - S5 * A6^2 + A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{12} = & M5 * A5 * S4 * (A5 * C23 * C5 * S5^2 - A5 * S23 * S5 * C4 + A5 * S23 * C4 + A2 * C5 * S2 - D4 * C23 * C5) + \\
 & M6 * (A5 * C23 * C5 * S5 * S4^2 - A5 * S23 * S5 * C4 * S4 + A5 * S23 * C4 * S4 + A5 * A2 * C5 * S4 * S2 - A5 * D4 * C23 * C5 * S4 + 2 * A5 * C23 * C6 * C5 * \\
 & S5 * S4 * A6 - A5 * C23 * S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S5 * S4 * D6 + A5 * C23 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C6 \\
 & * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * S6 * C5 * S4^2 * A6 - A5 * S23 * S6 * C5 * A6 - 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 + A2 * C6 * C5 * S4 * S2 * A6 - A2 * S6 * \\
 & C4 * S2 * A6 - A2 * S5 * S4 * S2 * D6 - D4 * C23 * C6 * C5 * S4 * A6 + D4 * C23 * S6 * C4 * A6 + D4 * C23 * S5 * S4 * D6 - C23 * C6 * S6 * S5 * C4 * A6^2 \\
 & - 2 * C23 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 + C23 * C6 * S4 * D6 * A6 - C23 * S6 * C5 * S5 * S4 * A6^2 - C23 * S6 * C5 * C4 * D6 * A6 - C23 * C5 * S5 * S4 * D6^2 \\
 & + C23 * C5 * S5 * S4 * A6^2 + 2 * S23 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6^2 - S23 * C6 * S6 * C5 * A6^2 - 2 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6 * S5 \\
 & * C4 * S4 * A6^2 - 2 * S23 * S6 * C4 * S4 * A6^2 - 2 * S23 * S6 * S5 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6 * S5 * D6 * A6 + S23 * S5 * C4 * S4 * D6^2 - S23 * S5 * \\
 & C4 * S4 * A6^2 + S23 * C4 * S4 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{13} = & M5 * A5 * S4 * (A5 * C23 * C5 * S5^2 - A5 * S23 * S5 * C4 + A5 * S23 * C4 - D4 * C23 * C5) + \\
 & M6 * (A5 * C23 * C5 * S5 * S4^2 - A5 * S23 * S5 * C4 * S4 + A5 * S23 * C4 * S4 - A5 * D4 * C23 * C5 * S4 + 2 * A5 * C23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 - A5 * C23 * \\
 & S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S5 * S4 * D6 + A5 * C23 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C6 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * \\
 & S23 * S6 * C5 * S4 * A6 - A5 * S23 * S6 * C5 * A6 - 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - D4 * C23 * C6 * C5 * S4 * A6 + D4 * C23 * S6 * C4 * A6 + D4 * \\
 & C23 * S5 * S4 * D6 - C23 * C6 * S6 * S5 * C4 * A6^2 - 2 * C23 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 + C23 * C6 * S4 * D6 * A6 - C23 * S6 * C5 * S5 * S4 * A6^2 - C23 *
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & S6 * C5 * C4 * D6 * A6 - C23 * C5 * S5 * S4 * D6 + C23 * C5 * S5 * S4 * A6 + 2 * S23 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6^2 - S23 * C6 * S6 * C5 * A6^2 - 2 * S23 * \\
 & C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6^2 - 2 * S23 * S6 * C4 * S4 * A6^2 - 2 * S23 * S6 * S5 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6 * S5 * D6 * \\
 & A6 + S23 * S5 * C4 * S4 * D6 - S23 * S5 * C4 * S4 * A6 + S23 * C4 * S4 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{14} = & M5 * A5 * C - A5 * C23 * S5^2 + A5 * C23 - A5 * S23 * C5 * S5 * C4 + A2 * C5 * C4 * C2 + D4 * S23 * C5 * C4 + \\
 & M6 * C - A5 * C23 * S5^2 + A5 * C23 - A5 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * A2 * C5 * C4 * C2 + A5 * D4 * S23 * C5 * C4 - 2 * A5 * C23 * C6 * S5 * A6 + 2 * A5 * \\
 & * C23 * C6 * A6 - 2 * A5 * C23 * C5 * S5 * D6 - 2 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - A5 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * S5 * C4 * D6 - A5 * \\
 & S23 * C4 * D6 + A2 * C6 * C5 * C4 * C2 * A6 + A2 * S6 * S4 * C2 * A6 - A2 * S5 * C4 * C2 * D6 + D4 * S23 * C6 * C5 * C4 * A6 + D4 * S23 * S6 * S4 * A6 - \\
 & D4 * S23 * S5 * C4 * D6 - 2 * C23 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 + C23 * S6 * S5 * A6 + C23 * S5 * D6 - C23 * S5 * A6^2 + C23 * A6^2 - S23 * C6 * S6 \\
 & * S5 * S4 * A6^2 + 2 * S23 * C6 * S5 * C4 * D6 * A6 - S23 * C6 * C4 * D6 * A6 + S23 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 - S23 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 + S23 * C5 * \\
 & S5 * C4 * D6^2 - S23 * C5 * S5 * C4 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{15} = & M5 * A5 * S4 * (A5 * S23 - A2 * S5 * C2 - D4 * S23 * S5) + \\
 & M6 * (A5 * S23 * S4 - A5 * A2 * S5 * S4 * C2 - A5 * D4 * S23 * S5 * S4 - A5 * C23 * S6 * S5 * A6 + 2 * A5 * S23 * C6 * S4 * A6 - A5 * S23 * S6 * C5 * C4 * A6 \\
 & - A2 * C6 * S5 * S4 * C2 * A6 - A2 * C5 * S4 * C2 * D6 - D4 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 - D4 * S23 * C5 * S4 * D6 - C23 * C6 * S6 * S5 * A6^2 - C23 * S6 * \\
 & C5 * D6 * A6 - S23 * C6 * S6 * C5 * C4 * A6 - S23 * S6 * S4 * A6 + S23 * S6 * S5 * C4 * D6 * A6 + S23 * S4 * D6^2 + S23 * S4 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{16} = & M6 * A6 * C - A5 * C23 * C6 * C5 + A5 * S23 * C6 * S5 * C4 - A2 * C6 * C4 * C2 - A2 * S6 * C5 * S4 * C2 - D4 * S23 * C6 * C4 - D4 * S23 * S6 * C5 * S4 + C23 \\
 & * C6 * S5 * D6 - C23 * C5 * A6 + S23 * C6 * C5 * C4 * D6 + S23 * S6 * S4 * D6 + S23 * S5 * C4 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\Lambda_{11} = 0$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{12} = & M5*A5*S4*(- A5*C23*S5^2*C4 + A5*C23*C4 - A5*S23*C5*S5 + A2*C5*C2 + D4*S23*CS) + \\ & M6*(- A5^2*C23*S5^2*C4*S4 + A5^2*C23*C4*S4 - A5^2*S23*C5*S5*S4 + A5*A2*C5*S4*C2 + A5*D4*S23*C5*S4 - 2*A5*C23*C6* \\ & S5^2*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*C6*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*S6*C5*S4*A6 - A5*C23*S6*C5*S4*A6 - 2*A5*C23*C5*S5*C4*S4*D6 - \\ & 2*A5*S23*C6*C5*S5*S4*A6 + A5*S23*S6*S5*C4*A6 + 2*A5*S23*S5^2*S4*D6 - A5*S23*S4*D6 + A2*C6*C5*S4*C2*A6 - A2* \\ & S6*C4*C2*A6 - A2*S5*S4*C2*D6 + D4*S23*C6*C5*S4*A6 - D4*S23*S6*C4*A6 + 2*C23*C6*S6*C5*S4^2 \\ & *A6 - C23*C6*S6*C5*A6^2 - 2*C23*C6*C5*S5*C4*S4*D6*A6 + C23*S6^2*S5^2*C4*S4*A6^2 - 2*C23*S6^2*C4*S4*A6^2 - 2*C23 \\ & *S6*S5*S4^2*D6*A6 + C23*S6*S5*D6*A6 + C23*S5^2*C4*S4*D6^2 - C23*S5^2*C4*S4*A6^2 + C23*C4*S4*A6^2 + S23*C6*S6*S5* \\ & C4*A6^2 + 2*S23*C6*S5^2*S4*D6*A6 - S23*C6*S4*D6*A6 + S23*S6^2*C5*S5*S4*A6^2 + S23*S6^2*C5*C4*D6*A6 + S23*C5*S5* \\ & S4*D6^2 - S23*C5*S5*S4*A6^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{13} = & M5*A5*S4*(- A5^2*C23*S5^2*C4 + A5^2*C23*C4 - A5^2*S23*C5*S5 + D4*S23*CS) + \\ & M6*(- A5^2*C23*S5^2*C4*S4 + A5^2*C23*C4*S4 - A5^2*S23*C5*S5*S4 + A5*D4*S23*C5*S4 - 2*A5*C23*C6*S5^2*C4*S4*A6 + 2* \\ & A5*C23*C6*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*S6*C5*S4*A6 - A5*C23*S6*C5*S4*A6 - 2*A5*C23*C5*S5*C4*S4*D6 - 2*A5*S23*C6*C5*S5 \\ & *S4*A6 + A5*S23*S6*S5*C4*A6 + 2*A5*S23*S5^2*S4*D6 - A5*S23*S4*D6 + D4*S23*C6*C5*S4*A6 - D4*S23*S6*C4*A6 - \\ & D4*S23*S5*S4*D6 + 2*C23*C6*S6*C5*S4*A6^2 - C23*C6*S6*C5*A6^2 - 2*C23*C6*S6*C5*S4*D6*A6 + C23*S6^2*S5^2*C4* \\ & S4*A6^2 - 2*C23*S6^2*C4*S4*A6^2 - 2*C23*S6^2*S5^2*S4*D6*A6 + C23*S6^2*C5*S5*S4*D6*A6 + C23*S5^2*C4*S4*D6^2 - C23*S5^2*C4*S4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & *A6^2 + C23*C4*S4*A6^2 + S23*C6*S6*S5*C4*A6^2 + 2*S23*C6*S5*S4*D6*A6 - S23*C6*S4*D6*A6 + S23*S6^2 *C5*S5*S4* \\
 & A6^2 + S23*S6*C5*C4*D6*A6 + S23*C5*S5*S4*D6^2 - S23*C5*S5*S4*A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{14} = & M5*A5*C5*S4*(A5*S23*S5 - A2*C2 - D4*S23) + \\
 & M6*(A5^2 *S23*C5*S5*S4 - A5*A2*C5*S4*C2 - A5*D4*S23*C5*S4 + 2*A5*S23*C6*C5*S5*S4*A6 - A5*S23*S6*S5*S4*A6 - 2*A5* \\
 & S23*S5^2 *S4*D6 + A5*S23*S4*D6 - A2*C6*C5*S4*C2*A6 + A2*S6*C4*C2*A6 + A2*S5*S4*C2*D6 - D4*S23*C6*C5*S4*A6 + \\
 & D4*S23*S6*C4*A6 + D4*S23*S5*S4*D6 - S23*C6*S6*S5*C4*A6^2 - 2*S23*C6*S5*S4*D6*A6 + S23*C6*S4*D6*A6 - S23* \\
 & S6^2 *C5*S5*S4*A6^2 - S23*S6*C5*C4*D6*A6 - S23*C5*S5*S4*D6^2 + S23*C5*S5*S4*A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{15} = & - (M5*A5*C5*S4)*(A2*C2 + D4*S23) + \\
 & M6*(- A5*A2*C5*S4*C2 - A5*D4*S23*S6*C5*A6 + A5*S23*S6*S5*C4*A6 - A2*C6*C5*S4*C2*A6 + A2*S5*S4* \\
 & C2*D6 - D4*S23*C6*C5*S4*A6 + D4*S23*S5*S4*D6 - C23*C6*S6*C5*A6^2 + C23*S6*S5*D6*A6 + S23*C6*S6*S5*S4*A6^2 + \\
 & S23*S6*C5*C4*D6*A6)
 \end{aligned}$$

$$\Lambda_{16} = M6*A6*(A5*C23*S6*C5 - A5*S23*S6*S5*S4 - A2*C6*C5*S4*C2 + A2*S6*C4*C2 - D4*S23*C6*C5*S4 + D4*S23*S6*C4 - C23*S6^2 *S5*D6 + S23*C6*S4*D6 - S23*S6*C5*C4*D6)$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{11} = & - 2*C2*S2*M2*A2^2 - 2*C2*S2*M3*A2^2 + 2*M4*(- A2^2 *C2*S2 + A2*D4*C23*C2 - A2*D4*S23*S2 + D4^2 *C23*S23) + \\
 & 2*M5*(- A5^2 *C23^2 *C5*S5*C4 - A5^2 *C23*S23*S5^2 *S4 + 2*A5^2 *C23*S23*S5^2 *S4^2 - A5^2 *C23*S23^2 *S23 + A5^2 * \\
 & S23^2 *C5*S5*C4 - A5*A2*C23*C5*C4*S2 - A5*A2*C23*S5*C2 - A5*A2*S23*C5*C4*C2 + A5*A2*S23*S5*S2 + A5*D4*C23^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & *C5*C4 - 2*A5*D4*C23*S23*S5 - A5*D4*S23 *C5*C4 - A2 *C2*S2 + A2*D4*C23*C2 - A2*D4*S23*S2 + D4 *C23*S23) + \\
 & 2*M6*(- A5 *C23*S23*S5 *S4 + 2*A5 *C23*S23*S5 + A5 *C23*S23*S4 - A5 *C23*S23 + 2*A5 *S23 *C5*S5*C4 - A5 * \\
 & C5*S5*C4 - A5*A2*C23*C5*C4*S2 - A5*A2*S23*S5*C2 - A5*A2*S23*C5*C4*C2 + A5*A2*S23*S5*S2 - 2*A5*D4*C23*S23 \\
 & *S5 - 2*A5*D4*S23 *C5*C4 + A5*D4*C5*C4 - 2*A5*C23*S23*C6*S5 *S4 *A6 + 4*A5*C23*S23*C6*S5 *A6 + 2*A5*C23* \\
 & S23*C6*S4 *A6 - 2*A5*C23*S23*C6*A6 - 2*A5*C23*S23*S6*C5*C4*S4*A6 - 2*A5*C23*S23*C5*S5*S4 *D6 + 4*A5*C23* \\
 & S23*C5*S5*D6 + 4*A5*S23 *C6*C5*S5*C4*A6 + 2*A5*S23 *S6*S5*S4*A6 - 4*A5*S23 *S5 *C4*D6 + 2*A5*S23 *C4*D6 \\
 & - 2*A5*C6*C5*S5*C4*A6 - A5*S6*S5*S4*A6 + 2*A5*S5 *C4*D6 - A5*C4*D6 - A2 *C2*S2 + A2*D4*C23*C2 - A2*D4* \\
 & S23*S2 - A2*C23*C6*C5*C4*S2*A6 - A2*C23*C6*S5*C2*A6 - A2*C23*S6*S4*S2*A6 - A2*C23*C5*C2*D6 + A2*C23*S5* \\
 & C4*S2*D6 - A2*S23*C6*C5*C4*C2*A6 + A2*S23*C6*S5*S2*A6 - A2*S23*S6*S4*C2*A6 + A2*S23*C5*S2*D6 + A2*S23*S5 \\
 & *C4*C2*D6 + D4 *C23*S23 - 2*D4*C23*S23*C6*S5*A6 - 2*D4*C23*S23*C5*D6 - 2*D4*S23 *C6*C5*C4*A6 - 2*D4*S23 \\
 & *S6*S4*A6 + 2*D4*S23 *S5*C4*D6 + D4*C6*C5*C4*A6 + D4*S6*S4*A6 - D4*S5*C4*D6 - 2*C23*S23*C6*S6*C5*C4*S4* \\
 & A6 - 2*C23*S23*C6*C5*S5*S4 *D6*A6 + 4*C23*S23*C6*C5*S5*D6*A6 + C23*S23*S6 *S5 *S4 *A6 - 2*C23*S23*S6 * \\
 & S5 *A6 - 2*C23*S23*S6 *S4 *A6 + C23*S23*S6 *A6 + 2*C23*S23*S6*S5*C4*S4*D6*A6 + C23*S23*S5 *S4 *D6 - \\
 & C23*S23*S5 *S4 *A6 - 2*C23*S23*S5 *D6 + 2*C23*S23*S5 *A6 + C23*S23*S4 *A6 + C23*S23*D6 - C23*S23* \\
 & A6 + 2*S23 *C6*S6*S5*S4*A6 - 4*S23 *C6*S5 *C4*D6*A6 + 2*S23 *C6*C4*D6*A6 - 2*S23 *S6 *C5*S5*C4*A6 + 2 \\
 & *S23 *S6*C5*S4*D6*A6 - 2*S23 *C5*S5*C4*D6 + 2*S23 *C5*S5*C4*A6 - C6*S6*S5*S4*A6 + 2*C6*S5 *C4*D6*A6 \\
 & - C6*C4*D6*A6 + S6 *C5*S5*C4*A6 - S6*C5*S4*D6*A6 + C5*S5*C4*D6 - C5*S5*C4*A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{12} = & 2 * M4 * D4 * C23 * (A2 * C2 + D4 * S23) + \\
 & 2 * M5 * (- A5 * C23 * C5 * S5 * C4 - A5 * C23 * S23 * S5 * S4 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5 + A5 * C23 * S23 * S4 - A5 * C23 * S23 + A5 * \\
 & S23 * C5 * S5 * C4 - A5 * A2 * C23 * S5 * C2 - A5 * A2 * S23 * C5 * C4 * C2 + A5 * D4 * C23 * C5 * C4 - 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * S5 - A5 * D4 * \\
 & S23 * C5 * C4 + A2 * D4 * C23 * C2 + D4 * C23 * S23) + \\
 & 2 * M6 * (- A5 * C23 * S23 * S5 * S4 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5 + A5 * C23 * S23 * S4 - A5 * C23 * S23 + 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * C4 - A5 * \\
 & C5 * S5 * C4 - A5 * A2 * C23 * S5 * C2 - A5 * A2 * S23 * C5 * C4 * C2 - 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * S5 - 2 * A5 * D4 * S23 * C5 * C4 + A5 * D4 * C5 * C4 \\
 & - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 + 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * A6 - 2 \\
 & * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 + 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * D6 + 4 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * \\
 & A6 + 2 * A5 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * S23 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C4 * D6 - 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - A5 * S6 * S5 * S4 * \\
 & A6 + 2 * A5 * S5 * C4 * D6 - A5 * C4 * D6 + A2 * D4 * C23 * C2 - A2 * C23 * C6 * S5 * C2 * A6 - A2 * C23 * C5 * C2 * D6 - A2 * S23 * C6 * C5 * C4 * \\
 & C2 * A6 - A2 * S23 * S6 * S4 * C2 * A6 + A2 * S23 * S5 * C4 * C2 * D6 + D4 * C23 * S23 - 2 * D4 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * D4 * C23 * S23 * C5 * \\
 & D6 - 2 * D4 * S23 * C6 * C5 * C4 * A6 - 2 * D4 * S23 * S6 * S4 * A6 + 2 * D4 * S23 * S5 * C4 * D6 + D4 * C6 * C5 * C4 * A6 + D4 * S6 * S4 * A6 - D4 \\
 & * S5 * C4 * D6 - 2 * C23 * S23 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 - 2 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 + 4 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 + C23 \\
 & * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * C23 * S23 * S6 * S5 * A6 - 2 * C23 * S23 * S6 * S4 * A6 + C23 * S23 * S6 * A6 + 2 * C23 * S23 * S6 * S5 \\
 & * C4 * S4 * D6 * A6 + C23 * S23 * S5 * S4 * D6 - C23 * S23 * S5 * S4 * A6 - 2 * C23 * S23 * S5 * D6 + 2 * C23 * S23 * S5 * A6 + C23 * \\
 & S23 * S4 * A6 + C23 * S23 * D6 - C23 * S23 * A6 + 2 * S23 * C6 * S6 * S5 * S4 * A6 - 4 * S23 * C6 * S5 * C4 * D6 * A6 + 2 * S23 * C6 * C4 \\
 & * D6 * A6 - 2 * S23 * S6 * C5 * S5 * C4 * A6 + 2 * S23 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 - 2 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6 + 2 * S23 * C5 * S5 * C4 * A6 - \\
 & C6 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * C6 * S5 * C4 * D6 * A6 - C6 * C4 * D6 * A6 + S6 * C5 * S5 * C4 * A6 - S6 * C5 * S4 * D6 * A6 + C5 * S5 * C4 * D6 -
 \end{aligned}$$

C5*S5*C4*A6)²

$$\begin{aligned}
 \sigma_{13} = & 2*M5*A5*S4*(A5*C23*S23*C5*S5 - A5*S23*S5*C4 + A5*S23*S5*C4 - A2*C23*C5*C2 - D4*C23*S23*C5) + \\
 & 2*M6*(A5*C23*S23*C5*S5*S4 - A5*S23*S5*C4*S4 + A5*S23*C4*S4 - A5*A2*C23*C5*S4*C2 - A5*D4*C23*S23*S23*C5*S4 + \\
 & 2*A5*C23*S23*C6*C5*S5*S4*A6 - A5*C23*S23*S6*S5*C4*A6 - 2*A5*C23*S23*S5*S4*D6 + A5*C23*S23*S4*D6 - 2*A5* \\
 & S23*C6*S5*C4*S4*A6 + 2*A5*S23*C6*C4*S4*A6 + 2*A5*S23*S6*C5*S4*A6 - A5*S23*S6*C5*A6 - 2*A5*S23*C5* \\
 & S5*C4*S4*D6 - A2*C23*C6*C5*S4*C2*A6 + A2*C23*S6*C4*C2*A6 + A2*C23*S5*S4*C2*D6 - D4*C23*S23*C6*C5*S4*A6 \\
 & + D4*C23*S23*S6*C4*A6 + D4*C23*S23*S5*S4*D6 - C23*S23*C6*S6*S5*C4*A6 - 2*C23*S23*C6*S5*S4*D6*A6 + C23 \\
 & *S23*C6*S4*D6*A6 - C23*S23*S6*C5*S5*S4*A6 - C23*S23*S6*C5*C4*D6*A6 - C23*S23*C5*S5*S4*D6² + C23*S23*C5 \\
 & *S5*S4*A6 + 2*S23*C6*S6*C5*S4*A6 - S23*C6*S6*C5*A6² - 2*S23*C6*S6*C5*A6 + S23*S6*S5*S4*A6² + S23*S6*S5*S4 \\
 & *S4*A6² - 2*S23*S6*C4*S4*A6 - 2*S23*S6*S5*S4*D6*A6 + S23*S6*S5*D6*A6 + S23*S5*C4*S4*D6² - S23* \\
 & S5*C4*S4*A6² + S23*C4*S4*A6²)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{14} = & 2*M5*A5*(- A5*C23*S23*C5*C4 + A5*C23*S23*S5*C4 - A5*S23*C5*S5*S4² + 2*A5*S23*C5*S5*S4² - A5*C5*S5 - A2*C23*S5 \\
 & *C4*C2 - A2*S23*C5*C2 - D4*C23*S23*S5*C4 - D4*S23*C5) + \\
 & 2*M6*(2*A5*C23*S23*S5*C4 - A5*C23*S23*C4 - A5*S23*C5*S5*S4² + 2*A5*S23*C5*S5*S4² - A5*C5*S5 - A5*A2*C23*S5 \\
 & *C4*C2 - A5*A2*S23*C5*C2 - A5*D4*C23*S23*S5*C4 - A5*D4*S23*C5 + 4*A5*C23*S23*C6*S5*C4*A6 - 2*A5*C23* \\
 & S23*C6*C4*A6 - A5*C23*S23*S6*C5*S4*A6 + 4*A5*C23*S23*C5*S5*C4*D6 - 2*A5*S23*C6*C5*S5*S4*A6 + 4*A5*S23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & *C6 * C5 * S5 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * S5 * S4 * D6 - 4 * A5 * S23^2 * S5 * D6 - A5 * S23^2 * S4 * D6 + 2 * A5 * \\
 & S23^2 * D6 - 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * A6 + 2 * A5 * S5^2 * D6 - A3 * D6 - A2 * C23 * C6 * S5 * C4 * C2 * A6 - A2 * C23 * C5 * C4 * C2 * D6 - A2 * S23 * \\
 & C6 * C5 * C2 * A6 + A2 * S23 * S5 * C2 * D6 - D4 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * A6 - D4 * C23 * S23 * C5 * C4 * D6 - D4 * S23 * C6 * C5 * A6 + D4 * \\
 & S23^2 * S5 * D6 - C23 * S23 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6^2 + 4 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * D6 * A6 - 2 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * A6^2 + C23 * S23 * \\
 & S6 * C4 * A6^2 + C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * D6 * A6 - 2 * C23 * S23 * S5^2 * C4 * D6^2 + 2 * C23 * S23 * S5 * C4 * A6^2 + C23 * S23 * C4 * D6^2 - C23 * \\
 & * S23 * C4 * A6^2 + S23^2 * C6 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6^2 + 2 * S23^2 * C6 * S5^2 * S4 * D6 * A6 - 4 * S23^2 * C6 * S5^2 * D6 * A6 - S23^2 * C6 * S4^2 * D6 * \\
 & A6 + 2 * S23^2 * C6 * D6 * A6 + S23^2 * S6 * C5 * S5 * S4 * A6^2 - 2 * S23^2 * S6 * C5 * S5 * A6^2 + S23^2 * S6 * C5 * C4 * S4 * D6 * A6 + S23^2 * C5 * \\
 & S5 * S4 * D6^2 - S23^2 * C5 * S5 * S4 * A6^2 - 2 * S23^2 * C5 * S5 * D6^2 + 2 * S23^2 * C5 * S5 * A6^2 + 2 * C6 * S5^2 * D6 * A6 - C6 * D6 * A6 + S6 * \\
 & C5 * S5 * A6^2 + C5 * S5 * D6^2 - C5 * S5 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{15} = & 2 * M6 * A6 * (- A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * S4 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * C4 - A5 * S23^2 * C6 * C5 * C4 * S4 + A5 * S23^2 * S6 * S5^2 * S4 - 2 * A5 * \\
 & S23^2 * S6 * S5^2 - A5 * S23^2 * S6 * S4 + A5 * S23^2 * S6 + A5 * S6 * S5^2 - A5 * S6 + A2 * C23 * C6 * S4 * C2 - A2 * C23 * S6 * C5 * C4 * C2 \\
 & + A2 * S23 * S6 * S5 * C2 + D4 * C23 * S23 * C6 * S4 - D4 * C23 * S23 * S6 * C5 * C4 + D4 * S23^2 * S6 * S5 + 2 * C23 * S23 * C6 * S6 * C5 * S5 * \\
 & C4 * A6 - C23 * S23 * C6 * C5 * S4 * D6 + 2 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * C23 * S23 * S6 * S5^2 * C4 * D6 + C23 * S23 * S6 * C4 * D6 - \\
 & C23 * S23 * S5 * S4 * A6 + S23^2 * C6 * S6 * S5^2 * S4 * A6 - 2 * S23^2 * C6 * S6 * S5^2 * A6 - 2 * S23^2 * C6 * S6 * S4^2 * A6 + S23^2 * C6 * S6 * A6 \\
 & + S23^2 * C6 * S5 * C4 * S4 * D6 + 2 * S23^2 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + S23^2 * S6 * C5 * S5 * S4 * D6 - 2 * S23^2 * S6 * C5 * S5 * D6 - S23^2 * C5 \\
 & * C4 * S4 * A6 + C6 * S6 * S5^2 * A6 + S6 * C5 * S5 * D6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{16} &= 2 * M5 * A5 * S4 * (- A5 * C23 * S5 * C4 + A5 * C23 * C4 - A5 * S23 * C5 * S5 + D4 * S23 * C5) + \\ & 2 * M6 * (- A5 * C23 * S5 * C4 * S4 + A5 * C23 * C4 * S4 - A5 * S23 * C5 * S5 * S4 + A5 * D4 * S23 * C5 * S4 - 2 * A5 * C23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 \\ & * A5 * C23 * C6 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S6 * C5 * S4 * A6 - A5 * C23 * S6 * C5 * A6 - 2 * A5 * C23 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * C6 * C5 \\ & * S5 * S4 * A6 + A5 * S23 * S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * S23 * S5 * S4 * D6 - A5 * S23 * S4 * D6 + D4 * S23 * C6 * C5 * S4 * A6 - D4 * S23 * S6 * C4 * \\ & A6 - D4 * S23 * S5 * S4 * D6 + 2 * C23 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6 - C23 * C6 * S6 * C5 * A6 - 2 * C23 * C6 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 + C23 * S6 * \\ & S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * C23 * S6 * C4 * S4 * A6 - 2 * C23 * S6 * S5 * S4 * D6 * A6 + C23 * S5 * C4 * S4 * D6 - C23 * \\ & S5 * C4 * S4 * A6 + C23 * C4 * S4 * A6 + S23 * C6 * S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * S23 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 - S23 * C6 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6 * \\ & C5 * S5 * S4 * A6 + S23 * S6 * C5 * C4 * D6 * A6 + S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - S23 * C5 * S5 * S4 * A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{17} &= M5 * A5 * S23 * (- S5 * C4 + S5 * S4 + S5 + C4 - S4 - 1) + \\ & 2 * S23 * M6 * (A5 * S5 * S4 - A5 * S4 + 2 * A5 * C6 * S5 * S4 * A6 - 2 * A5 * C6 * S4 * A6 + 2 * A5 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C5 * S5 * S4 * \\ & D6 + 2 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 - S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * S6 * S4 * A6 - S6 * A6 - 2 * S6 * \\ & S5 * C4 * S4 * D6 * A6 - S5 * S4 * D6 + S5 * S4 * A6 - S4 * A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{18} &= M5 * A5 * S4 * (C23 * C5 - C23 * S5 + C23 - 2 * S23 * C5 * S5 * C4) + \\ & 2 * M6 * (- A5 * C23 * S5 * S4 + A5 * C23 * S4 - A5 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 - 2 * A5 * C23 * C6 * S5 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * C6 * S4 * A6 - A5 * \\ & C23 * S6 * C5 * C4 * A6 - 2 * A5 * C23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * A6 - A5 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + A5 * S23 * S6 * S5 \\ & * A6 + 2 * A5 * S23 * S5 * C4 * S4 * D6 - A5 * S23 * C4 * S4 * D6 - C23 * C6 * S6 * C5 * C4 * A6 - C23 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 + C23 * S6 * \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & S5^2 * S4 * A6^2 - C23 * S6^2 * S4 * A6^2 + C23 * S6 * S5 * C4 * D6 * A6 + C23 * S5^2 * S4 * D6^2 - C23 * S5^2 * S4 * A6^2 + C23 * S4 * A6^2 - S23 * C6 \\
 & * S6 * S5 * S4 * A6^2 + S23 * C6 * S6 * S5 * A6^2 + 2 * S23 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * D6 * A6 - S23 * C6 * C4 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6^2 * C5 * S5 * C4 * S4 * \\
 & A6^2 - S23 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6 * C5 * D6 * A6 + S23 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6^2 - S23 * C5 * S5 * C4 * S4 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{19} = & 2 * M6 * A6 * (- A5 * C23 * S6 * C5 * S5 * S4 + A5 * S23 * C6 * C5 * S4^2 + A5 * S23 * S6 * S5^2 * C4 * S4 - A5 * S23 * S6 * C4 * S4 - C23 * C6 * S6 * C5 * S5 * S4 \\
 & * A6 + C23 * S6^2 * S5 * C4 * A6 + C23 * S6 * S5^2 * S4 * D6 + S23 * C6 * S6 * S5^2 * C4 * S4 * A6 - 2 * S23 * C6 * S6 * C4 * S4 * A6 - S23 * C6 * S5^2 \\
 & * S4 * D6 - 2 * S23 * S6^2 * C5 * S4 * A6 + S23 * S6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 + S23 * C5 * S5^2 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{1.10} = & M5 * A5^2 * S23 * (- S5^2 * C4^2 + S5^2 * S4^2 + S5^2 + C4^2 - S4^2 - 1) + \\
 & 2 * S23 * M6 * (A5^2 * S5^2 * S4^2 - A5^2 * S4^2 + 2 * A5 * C6 * S5^2 * S4^2 * A6 - 2 * A5 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C5 * S5^2 * S4^2 * \\
 & D6 + 2 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6^2 + 2 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 - S6^2 * S5^2 * S4^2 * A6^2 + 2 * S6^2 * S4^2 * A6^2 - 2 * S6 * \\
 & S5 * C4 * S4 * D6 * A6 - S5^2 * S4 * D6^2 + S5^2 * S4 * A6^2 - S4^2 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{1.11} = & M5 * A5^2 * S4 * (C23 * C5^2 - C23 * S5^2 + C23 - 2 * S23 * C5 * S5 * C4) + \\
 & 2 * M6 * (- A5^2 * C23 * S5^2 * S4 + A5^2 * C23 * S4 - A5 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 - 2 * A5 * C23 * C6 * S5^2 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * C6 * S4 * A6 - A5 * \\
 & C23 * S6 * C5 * C4 * A6 - 2 * A5 * C23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * A6 - A5 * S23 * S6 * S5^2 * S4 * A6 + A5 * S23 * S6 * S5^2 \\
 & * A6 + 2 * A5 * S23 * S5^2 * C4 * S4 * D6 - A5 * S23 * C4 * S4 * D6 - C23 * C6 * S6 * C5 * C4 * A6^2 - 2 * C23 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 + C23 * S6^2 * \\
 & S5^2 * S4 * A6^2 - C23 * S6^2 * S4 * A6^2 + C23 * S6 * S5 * C4 * D6 * A6 + C23 * S5^2 * S4 * D6^2 - C23 * S5^2 * S4 * A6^2 + C23 * S4 * A6^2 - S23 * C6 \\
 & * S6 * S5 * S4 * A6^2 + S23 * C6 * S6 * S5 * A6^2 + 2 * S23 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * D6 * A6 - S23 * C6 * C4 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6^2 * C5 * S5 * C4 * S4 *
 \end{aligned}$$

$$A6^2 - S23*S6*C5*S4 *D6*A6 + S23*S6*C5*D6*A6 + S23*C5*S5*C4*S4*D6^2 - S23*C5*S5*C4*S4*A6^2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{1,12} = & 2*M6*A6*(- A5*C23*S6*C5*S5*S4 + A5*S23*C6*C5*S4^2 + A5*S23*S6*S5 *C4*S4 - A5*S23*S6*C4*S4 - C23*C6*S6*C5*S5*S4 \\ & *A6 + C23*S6 *S5*C4*A6 + C23*S6*S5 *S4*D6 + S23*C6*S6*S5 *C4*S4*A6 - 2*S23*C6*S6*C4*S4*A6 - S23*C6*S5 \\ & *S4 *D6 - 2*S23*S6 *C5*S4 *A6 + S23*S6 *C5*S5*C4*S4*D6 + S23*C5*S4 *A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{1,13} = & M5*A5*(- 2*A5*C23*C5*S5 - A5*S23*C5 *C4 + A5*S23*S5 *C4 + A5*S23*C4 - 2*A2*S5*C4*C2 - 2*D4*S23*S5*C4) + \\ & 2*M6*(- A5 *C23*C5*S5 + A5 *S23*S5 *C4 - A5*A2*S5*C4*C2 - A5*D4*S23*S5*C4 - 2*A5*C23*C6*C5*S5*A6 + 2*A5*C23* \\ & S5 *D6 - A5*C23*D6 + 2*A5*S23*C6*S5 *C4*A6 + 2*A5*S23*C5*S5*C4*D6 - A2*C6*S5*C4*C2*A6 - A2*C5*C4*C2*D6 \\ & - D4*S23*C6*S5*C4*A6 - D4*S23*C5*C4*D6 + 2*C23*C6*S5 *D6*A6 - C23*C6*D6*A6 + C23*S6 *C5*S5*A6^2 + C23*C5 \\ & *S5*D6 - C23*C5*S5*A6^2 + 2*S23*C6*C5*S3*C4*D6*A6 - S23*S6 *S5 *C4*A6^2 - S23*S5 *C4*D6 + S23*S5 *C4*A6 \\ & + S23*C4*D6^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{1,14} = & 2*M6*A6*(A5*C23*S6*S5 - A5*C23*S6 - A5*S23*C6*S5*S4 + A5*S23*S6*C5*S5*C4 + A2*C6*S4*C2 - A2*S6*C5*C4*C2 + D4* \\ & S23*C6*S4 - D4*S23*S6*C5*C4 + C23*C6*S6*S5 *A6 + C23*S6*C5*S5*D6 + S23*C6*S6*C5*S5*C4*A6 - S23*C6*C5* \\ & S4*D6 + S23*S6 *S5*S4*A6 - S23*S6*S5 *C4*D6 + S23*S6*C4*D6 - S23*S5*S4*A6) \end{aligned}$$

$$\sigma_{1,15} = 2*S6*M6*A6*(- A5*S23*S4 + A2*S5*S4*C2 + D4*S23*S5*S4 + C23*S6*S5*A6 - S23*C6*S4*A6 + S23*S6*C5*C4*A6)$$

$$X_1 = 0$$

(2) τ_2 に関する内容

$$\begin{aligned}
J_{21} = & M5 * A5 * S4 * (A5 * C23 * C5 * S5 - A5 * S23 * S5 * C4 + A5 * S23 * C4 + A2 * C5 * S2 - D4 * C23 * C5) + \\
& M6 * (A5 * C23 * C5 * S5 * S4 - A5 * S23 * S5 * C4 * S4 + A5 * S23 * C4 * S4 + A5 * A2 * C5 * S4 * S2 - A5 * D4 * C23 * C5 * S4 + 2 * A5 * C23 * C6 * C5 * \\
& S5 * S4 * A6 - A5 * C23 * S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S5 * S4 * D6 + A5 * C23 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C6 \\
& * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * S6 * C5 * S4 * A6 - A5 * S23 * S6 * C5 * A6 - 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 + A2 * C6 * C5 * S4 * S2 * A6 - A2 * S6 * \\
& C4 * S2 * A6 - A2 * S5 * S4 * S2 * D6 - D4 * C23 * C6 * C5 * S4 * A6 + D4 * C23 * S6 * C4 * A6 + D4 * C23 * S5 * S4 * D6 - C23 * C6 * S6 * S5 * C4 * A6 \\
& - 2 * C23 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 + C23 * C6 * S4 * D6 * A6 - C23 * S6 * C5 * S4 * A6^2 - C23 * S6 * C5 * C4 * D6 * A6 - C23 * C5 * S5 * S4 * D6^2 \\
& + C23 * C5 * S5 * S4 * A6^2 + 2 * S23 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6^2 * A6 - S23 * C6 * S6 * C5 * A6^2 - 2 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6 * S5 \\
& * C4 * S4 * A6^2 - 2 * S23 * S6 * C4 * S4 * A6^2 * D6 * A6 + S23 * S6 * S5 * D6 * A6 + S23 * S5 * C4 * S4 * D6^2 - S23 * S5 * \\
& C4 * S4 * A6^2 + S23 * C4 * S4 * A6^2) \\
J_{22} = & M2 * A2^2 + M3 * A2^2 + M4 * (A2^2 - 2 * A2 * D4 * C23 * S2 + 2 * A2 * D4 * S23 * C2 + D4^2) + \\
& M5 * (A5 * S5 * S4 - A5 * S4^2 + A5^2 + 2 * A5 * A2 * C23 * C5 * C4 * C2 + 2 * A5 * A2 * C23 * S5 * S2 + 2 * A5 * A2 * S23 * C5 * C4 * S2 - 2 * A5 * A2 * \\
& S23 * S5 * C2 - 2 * A5 * D4 * S5 + A2^2 - 2 * A2 * D4 * C23 * S2 + 2 * A2 * D4 * S23 * C2 + D4^2) + \\
& M6 * (2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * S23 * S5 * S4 - 2 * A5 * S23 * S5 * S4 - A5 * S23 * S4 + A5 * S23 * S4 + A5 * S23^2 + A5 * S5^2 + 2 * A5 * A2 * \\
& C23 * S5 * S2 + 2 * A5 * A2 * S23 * C5 * C4 * S2 - 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * C5 * C4 + 2 * A5 * D4 * S23 * S5 - 2 * A5 * D4 * S5 + 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * \\
& C5 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * S5^2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & S4 * A6 - 4 * A5 * S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * \\
 & S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 4 * A5 * S23 * C5 * S5 * D6 + 2 * A5 * C6 * S5 * A6 + 2 * A5 * C5 * S5 * D6 + A2 - 2 * A2 * D4 * C23 * S2 + 2 * A2 * D4 * \\
 & S23 * C2 + 2 * A2 * C23 * C6 * C5 * C4 * C2 * A6 + 2 * A2 * C23 * C6 * S5 * S2 * A6 + 2 * A2 * C23 * S6 * S4 * C2 * A6 + 2 * A2 * C23 * C5 * S2 * D6 - 2 * A2 * \\
 & C23 * S5 * C4 * C2 * D6 + 2 * A2 * S23 * C6 * C5 * C4 * S2 * A6 - 2 * A2 * S23 * C6 * S5 * C2 * A6 + 2 * A2 * S23 * S6 * S4 * S2 * A6 - 2 * A2 * S23 * C5 * C2 * \\
 & D6 - 2 * A2 * S23 * S5 * C4 * S2 * D6 + D4 - 2 * D4 * C6 * S5 * A6 - 2 * D4 * C5 * D6 + 2 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 \\
 & - S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * S6 * S4 * A6 - S6 * A6 - 2 * S6 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 - S5 * S4 * D6 + S5 * S4 * A6 - S4 * A6 \\
 & + D6 + A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{23} = & M4 * D4 * (- A2 * C23 * S2 + A2 * S23 * C2 + D4) + \\
 & M5 * (A5 * S5 * S4 - A5 * S4 + A5 + A5 * A2 * C23 * C5 * C4 * C2 + A5 * A2 * C23 * S5 * S2 + A5 * A2 * S23 * C5 * C4 * S2 - A5 * A2 * S23 * S5 * C2 \\
 & - 2 * A5 * D4 * S5 - A2 * D4 * C23 * S2 + A2 * D4 * S23 * C2 + D4) + \\
 & M6 * (2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * S23 * S5 * S4 - 2 * A5 * S23 * S5 - A5 * S23 * S4 + A5 * S23 + A5 * S5 + A5 * A2 * C23 \\
 & * S5 * S2 + A5 * A2 * S23 * C5 * C4 * S2 - 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * C5 * C4 + 2 * A5 * D4 * S23 * S5 - 2 * A5 * D4 * S5 + 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 \\
 & * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 \\
 & - 4 * A5 * S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C6 * A6 + 2 * A5 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C5 * \\
 & S5 * S4 * D6 - 4 * A5 * S23 * C5 * S5 * D6 + 2 * A5 * C6 * S5 * A6 + 2 * A5 * C5 * S5 * D6 - A2 * D4 * C23 * S2 + A2 * D4 * S23 * C2 + A2 * C23 * C6 * \\
 & C5 * C4 * C2 * A6 + A2 * C23 * C6 * S5 * S2 * A6 + A2 * C23 * S6 * S4 * C2 * A6 + A2 * C23 * C5 * S2 * D6 - A2 * C23 * S5 * C4 * C2 * D6 + A2 * S23 * C6 * \\
 & C5 * C4 * S2 * A6 - A2 * S23 * C6 * S5 * C2 * A6 + A2 * S23 * S6 * S4 * S2 * A6 - A2 * S23 * C5 * C2 * D6 - A2 * S23 * S5 * C4 * S2 * D6 + D4 - 2 * D4 * \\
 & C6 * S5 * A6 - 2 * D4 * C5 * D6 + 2 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 - S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * S6 * S4 * A6 -
 \end{aligned}$$

$$S6^2 * A6^2 - 2 * S6^2 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 - S5^2 * S4^2 * D6^2 + S5^2 * S4^2 * A6^2 - S4^2 * A6^2 + D6^2 + A6^2$$

$$\begin{aligned}
 J_{24} = & M5 * A5 * C5 * S4 * (A5 * S5 + A2 * C23 * S2 - A2 * S23 * C2 - D4) + \\
 & M6 * (- A5^2 * C23 * S23 * S5 * C4 * S4 + A5^2 * C23 * S23 * C4 * S4 - A5^2 * S23^2 * C5 * S5 * S4 + A5^2 * C5 * S5 * S4 + A5 * A2 * C23 * C5 * S4 * S2 + A5 * \\
 & D4 * S23^2 * C5 * S4 - A5 * D4 * C5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * S4 * \\
 & * S4 * A6 - A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * S5 * C4 * \\
 & A6 + 2 * A5 * S23^2 * S5 * S4 * D6 - A5 * S23^2 * S4 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 - A5 * S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * S5^2 * S4 * D6 + A5 * S4 * \\
 & D6 + A2 * C23 * C6 * C5 * S4 * S2 * A6 - A2 * C23 * S6 * C4 * S2 * A6 - A2 * C23 * S5 * S4 * S2 * D6 - A2 * S23 * C6 * C5 * S4 * C2 * A6 + A2 * S23 * S6 * \\
 & C4 * C2 * A6 + A2 * S23 * S5 * S4 * C2 * D6 - D4 * C6 * C5 * S4 * A6 + D4 * S6 * C4 * A6 + D4 * S5 * S4 * D6 - C6 * S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * C6 * S5^2 * S4 \\
 & * D6 * A6 + C6 * S4 * D6 * A6 - S6^2 * C5 * S5 * S4 * A6 - S6 * C5 * C4 * D6 * A6 - C5 * S5 * S4 * D6^2 + C5 * S5 * S4 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{25} = & M5 * A5 * (A5 * C4 + A2 * C23 * C5 * C2 + A2 * C23 * S5 * C4 * S2 + A2 * S23 * C5 * S2 - A2 * S23 * S5 * C4 * C2 - D4 * S5 * C4) + \\
 & M6 * (- A5^2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 + 2 * A5^2 * C23 * S23 * C5 * S5 - 2 * A5^2 * S23^2 * S5 * C4 + A5^2 * S23^2 * C4 + A5 * S5^2 * C4 + A5 * A2 * C23 * \\
 & S5 * C4 * S2 + A5 * A2 * S23 * C5 * S2 - A5 * D4 * C23 * S23 * C5 + A5 * D4 * S23 * S5 * C4 - A5 * D4 * S5 * C4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 \\
 & * A6 + 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5^2 * S4 * D6 - 4 * A5 * C23 * S23 * S5^2 * D6 \\
 & - A5 * C23 * S23 * S4^2 * D6 + 2 * A5 * C23 * S23 * D6 - 4 * A5 * S23^2 * C6 * S5^2 * C4 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * C4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * S4 * A6 \\
 & - 4 * A5 * S23^2 * C5 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * C6 * S5^2 * C4 * A6 + 2 * A5 * C5 * S5 * C4 * D6 + A2 * C23 * C6 * C5 * C2 * A6 + A2 * C23 * C6 * S5 * C4 * S2 * \\
 & A6 + A2 * C23 * C5 * C4 * S2 * D6 - A2 * C23 * S5 * C2 * D6 + A2 * S23 * C6 * C5 * S2 * A6 - A2 * S23 * C6 * S5 * C4 * C2 * A6 - A2 * S23 * C5 * C4 * C2 * \\
 & D6 - A2 * S23 * S5 * S2 * D6 - D4 * C6 * S5 * C4 * A6 - D4 * C5 * C4 * D6 + C6 * S6 * C5 * S4 * A6 - S6^2 * C4 * A6^2 - S6 * C4 * A6^2 - S6 * S5 * S4 * D6 * A6 + C4 *
 \end{aligned}$$

$$D_6 + C_4 * A_6)^2$$

$$J_{26} = M_6 * A_6 * (- A_5 * C_{23} * S_{23} * C_6 * C_5 * C_4 * S_4 + A_5 * C_{23} * S_{23} * S_6 * S_5 * S_4 - 2 * A_5 * C_{23} * S_{23} * S_6 * S_5^2 - A_5 * C_{23} * S_{23} * S_6 * S_4^2 + A_5 * C_{23} * S_{23} * S_6 + A_5 * S_{23} * C_6 * S_5 * S_4 - 2 * A_5 * S_{23}^2 * S_6 * C_5 * S_5 * C_4 - A_5 * S_6 * C_5 * S_5 * C_4 - A_2 * C_{23} * C_6 * S_4 * S_2 + A_2 * C_{23} * S_6 * C_5 * C_4 * S_2 - A_2 * C_{23} * S_6 * S_5 * C_2 + A_2 * S_{23} * C_6 * S_4 * C_2 - A_2 * S_{23} * S_6 * C_5 * C_4 * C_2 - A_2 * S_{23} * S_6 * S_5 * S_2 + D_4 * C_6 * S_4 - D_4 * S_6 * C_5 * C_4 - C_6 * C_5 * S_4 * D_6 + S_6 * C_4 * D_6 - S_5 * S_4 * A_6)$$

$$A_{21} = C_2 * S_2 * M_2 * A_2^2 + C_2 * S_2 * M_3 * A_2^2 + M_4 * (A_2 * C_2 * S_2 - A_2 * D_4 * C_{23} * C_2 + A_2 * D_4 * S_{23} * S_2 - D_4 * C_{23} * S_{23})^2 + M_5 * (A_5 * C_{23} * C_5 * S_5 * C_4 + A_5 * C_{23} * S_{23} * S_5 * S_4 - 2 * A_5 * C_{23} * S_{23} * S_5^2 - A_5 * C_{23} * S_{23} * S_4^2 + A_5 * C_{23} * S_{23} * S_5 - A_5 * C_{23} * S_{23} * S_4^2 + A_5 * S_{23} * C_5 * S_5 * C_4 + A_5 * A_2 * C_{23} * C_5 * C_4 * S_2 + A_5 * A_2 * C_{23} * S_5 * C_2 + A_5 * A_2 * S_{23} * C_5 * C_4 * C_2 - A_5 * A_2 * S_{23} * S_5 * S_2 - A_5 * D_4 * C_{23} * C_5 * C_4 + 2 * A_5 * D_4 * C_{23} * S_{23} * S_5 + A_5 * D_4 * S_{23} * C_5 * C_4 + A_2 * C_2 * S_2 - A_2 * D_4 * C_{23} * C_2 + A_2 * D_4 * S_{23} * S_2 - D_4 * C_{23} * S_{23})^2 + M_6 * (A_5 * C_{23} * S_{23} * S_5 * S_4 - 2 * A_5 * C_{23} * S_{23} * S_5^2 - A_5 * C_{23} * S_{23} * S_4^2 + A_5 * C_{23} * S_{23} * S_5 + A_5 * C_{23} * S_{23} * S_4^2 + A_5 * C_{23} * S_{23} * S_5 * S_2 - 2 * A_5 * C_{23} * S_{23} * S_4 + A_5 * C_{23} * S_{23} * S_5 * C_4 + A_5 * C_5 * S_5 * C_4 + A_5 * A_2 * C_{23} * C_5 * C_4 * S_2 + A_5 * A_2 * C_{23} * S_5 * C_2 + A_5 * A_2 * S_{23} * C_5 * C_4 * C_2 - A_5 * A_2 * S_{23} * S_5 * S_2 + 2 * A_5 * D_4 * C_{23} * S_{23} * S_5 + 2 * A_5 * D_4 * S_{23} * C_5 * C_4 - A_5 * D_4 * C_5 * C_4 + 2 * A_5 * C_{23} * S_{23} * C_6 * S_5 * S_4 * A_6 - 4 * A_5 * C_{23} * S_{23} * C_6 * S_5 * A_6 - 2 * A_5 * C_{23} * S_{23} * S_6 * C_6 * S_4^2 * A_6 + 2 * A_5 * C_{23} * S_{23} * S_6 * C_5 * C_4 * S_4 * A_6 + 2 * A_5 * C_{23} * S_{23} * C_5 * S_5 * S_4 * D_6 - 4 * A_5 * S_{23}^2 * C_6 * C_5 * S_5 * C_4 * A_6 - 2 * A_5 * S_{23}^2 * S_6 * S_5 * S_4 * A_6 + 4 * A_5 * S_{23}^2 * S_5 * C_4 * D_6 - 2 * A_5 * S_{23}^2 * C_4 * D_6 + 2 * A_5 * C_6 * C_5 * S_5 * C_4 * A_6 + A_5 * S_6 * S_5 * S_4 * A_6 - 2 * A_5 * S_5^2 * C_4 * D_6 + A_5 * C_4 * D_6 + A_2 * C_2 * S_2 - A_2 * D_4 * C_{23} * C_2 + A_2 * D_4 * S_{23} * S_2 + A_2 * C_{23} * C_6 * C_5 * C_4 * S_2 * A_6 + A_2 * C_{23} * C_6 * S_5 * C_2 * A_6 + A_2 * C_{23} * S_6 * S_4 * S_2 * A_6 + A_2 * C_{23} * C_5 * C_2 * D_6 - A_2 * C_{23} * S_5 * C_4 * S_2 * D_6 + A_2 * S_{23} * C_6 * C_2 * A_6 - A_2 * S_{23} * C_6 * S_5 * S_2 * A_6 + A_2 * S_{23} * S_6 * S_4 * C_2 * A_6 - A_2 * S_{23} * S_5 * C_4 * C_2 * D_6 - D_4 * C_{23} * C_5 * C_4 * C_2 * A_6 - A_2 * S_{23} * C_6 * S_5 * S_2 * A_6 + A_2 * S_{23} * S_6 * S_4 * C_2 * A_6 - A_2 * S_{23} * S_5 * C_4 * C_2 * D_6 - D_4 * C_{23} * C_5 * C_4 * C_2 * A_6)^2$$

$$\begin{aligned}
 & S23 + 2 * D4 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 + 2 * D4 * C23 * S23 * C5 * D6 + 2 * D4 * S23 * C6 * C5 * C4 * A6 + 2 * D4 * S23 * S6 * S4 * A6 - 2 * D4 * S23 * \\
 & S5 * C4 * D6 - D4 * C6 * C5 * C4 * A6 - D4 * S6 * S4 * A6 + D4 * S5 * C4 * D6 + 2 * C23 * S23 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * \\
 & S4 * D6 * A6 - 4 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 - C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * S6 * S5 * A6 + 2 * C23 * S23 * S6 * S4 * \\
 & * A6 - C23 * S23 * S6 * A6 - 2 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 - C23 * S23 * S5 * S4 * D6 + C23 * S23 * S5 * S4 * A6 + 2 * C23 * \\
 & S23 * S5 * D6 - 2 * C23 * S23 * S5 * A6 - C23 * S23 * S4 * A6 - C23 * S23 * D6 + C23 * S23 * A6 - 2 * S23 * C6 * S6 * S5 * S4 * A6 + 4 \\
 & * S23 * C6 * S5 * C4 * D6 * A6 - 2 * S23 * C6 * C4 * D6 * A6 + 2 * S23 * S6 * C5 * S5 * C4 * A6 - 2 * S23 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 + 2 * S23 * C5 * \\
 & S5 * C4 * D6 - 2 * S23 * C5 * S5 * C4 * A6 + C6 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * C6 * S5 * C4 * D6 * A6 + C6 * C4 * D6 * A6 - S6 * C5 * S5 * C4 * A6 + \\
 & S6 * C5 * S4 * D6 * A6 - C5 * S5 * C4 * D6 + C5 * S5 * C4 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{22} = & A5 * M6 * (A5 * C23 * S23 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S5 - A5 * C23 * S23 * S4 + A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * C5 * S5 * C4 \\
 & + A2 * C23 * C5 * C4 * S2 + A2 * C23 * S5 * C2 + A2 * S23 * C5 * C4 * C2 - A2 * S23 * S5 * S2 + 2 * D4 * C23 * S23 * S5 + 2 * D4 * S23 * C5 * C4 \\
 & - D4 * C5 * C4 + 2 * C23 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 - 4 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * C23 * S23 * C6 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * C6 * A6 + 2 \\
 & * C23 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 4 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - 4 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - 2 * S23 * \\
 & S6 * S5 * S4 * A6 + 4 * S23 * S5 * C4 * D6 - 2 * S23 * C4 * D6 + 2 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * S5 * C4 * D6 + C4 * D6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{23} = & M5 * A2 * (A5 * C23 * C5 * C4 * S2 - A5 * C23 * S5 * C2 - A5 * S23 * C5 * C4 * C2 - A5 * S23 * S5 * S2 + D4 * C23 * C2 + D4 * S23 * S2) + \\
 & M6 * (A5 * C23 * S23 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S5 - A5 * C23 * S23 * S4 + A5 * C23 * S23 - 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * C5 * S5 * \\
 & C4 + A5 * A2 * C23 * C5 * C4 * S2 - A5 * A2 * S23 * S5 * S2 + 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * S5 + 2 * A5 * D4 * S23 * C5 * C4 - A5 * D4 * C5 * C4 + 2 * A5 *
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & C23*S23*C6*S5*S4*A6 - 4*A5*C23*S23*C6*S5*A6 - 2*A5*C23*S23*C6*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*C6*A6 + 2*A5*C23* \\
 & S23*S6*S5*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*C5*S5*S4*D6 - 4*A5*C23*S23*C5*S5*D6 - 4*A5*S23*C6*C5*S5*C4*A6 - 2*A5* \\
 & S23*S6*S5*S4*A6 + 4*A5*S23*S5*C4*D6 - 2*A5*S23*C4*D6 + 2*A5*C6*C5*S5*C4*A6 + A5*S6*S5*S4*A6 - 2*A5*S5 \\
 & *C4*D6 + A5*C4*D6 + A2*D4*C23*C2 + A2*D4*S23*S2 + A2*C23*C6*C5*C4*S2*A6 - A2*C23*C6*S5*C2*A6 + A2*C23*S6* \\
 & S4*S2*A6 - A2*C23*C5*C2*D6 - A2*C23*S5*C4*S2*D6 - A2*S23*C6*C5*C4*C2*A6 - A2*S23*C6*S5*S2*A6 - A2*S23*S6* \\
 & S4*C2*A6 - A2*S23*C5*S2*D6 + A2*S23*S5*C4*C2*D6) + M4*A2*D4*(C23*C2 + S23*S2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{24} = & M5*A5*C5*C4*(A5*S5 + A2*C23*S2 - A2*S23*C2 - D4) + \\
 & M6*(A5*C23*S23*S5*S4 - A5*C23*S23*S5 - A5*C23*S23*S4 + A5*S23*C5*S5*C4 + A5*C5*S5*C4 \\
 & + A5*A2*C23*C5*C4*S2 + A5*D4*S23*C5*C4 - A5*D4*C5*C4 + 2*A5*C23*S23*C6*S5*S4*A6 - 2*A5*C23*S23*C6*S5* \\
 & A6 - 2*A5*C23*S23*C6*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*S6*S5*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*C5*S5*S4*D6 \\
 & - 2*A5*C23*S23*C5*S5*D6 - 2*A5*S23*C6*C5*S5*C4*A6 - A5*S23*S6*S5*S4*A6 + 2*A5*S23*S5*C4*D6 - A5*S23* \\
 & C4*D6 + 2*A5*C6*C5*S5*C4*A6 + A5*S6*S5*S4*A6 - 2*A5*S5*C4*D6 + A5*C4*D6 + A2*C23*C6*C5*C4*S2*A6 + A2*C23* \\
 & S6*S4*S2*A6 - A2*C23*S5*C4*S2*D6 - A2*S23*C6*C5*C4*C2*A6 - A2*S23*S6*S4*C2*A6 + A2*S23*S5*C4*C2*D6 - D4*C6 \\
 & *C5*C4*A6 - D4*S6*S4*A6 + D4*S5*C4*D6 + C6*S6*S5*S4*A6 - 2*C6*S5*C4*D6*A6 + C6*C4*D6*A6 - S6*C5*S5*C4* \\
 & A6 + S6*C5*S4*D6*A6 - C5*S5*C4*D6 + C5*S5*C4*A6) \\
 \Lambda_{25} = & M5*A5*(A2*C23*C5*C4*S2 - A2*C23*S5*C2 - A2*S23*C5*C4*C2 - A2*S23*S5*S2 - D4*C5*C4) + \\
 & M6*(A5*C23*S23*S5*S4 - 2*A5*C23*S23*S5 - A5*C23*S23*S4 + A5*S23*C5*S5*C4 + A5*C5*S5*
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & C4 + A5*A2*C23*C5*C4*S2 - A5*A2*S23*S5*S2 + A5*D4*C23*S23*S5 + A5*D4*S23*C5*C4 - A5*D4*C5*C4 + 2*A5*C23* \\
 & S23*C6*S5*S4*A6 - 4*A5*C23*S23*C6*S5*A6 - 2*A5*C23*S23*C6*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*C6*A6 + A5*C23*S23*S6* \\
 & C5*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*C5*S5*S4*D6 - 4*A5*C23*S23*C5*S5*D6 - 4*A5*S23*C6*C5*S5*C4*A6 - A5*S23*S6*S5 \\
 & *S4*A6 + 4*A5*S23*S5*C4*D6 - 2*A5*S23*C4*D6 + 2*A5*C6*C5*S5*C4*A6 - 2*A5*S5*C4*D6 + A5*C4*D6 + A2*C23* \\
 & C6*C5*C4*S2*A6 - A2*C23*C6*S5*C2*A6 - A2*C23*C5*C2*D6 - A2*S23*S5*C4*S2*D6 - A2*S23*C6*C5*C4*C2*A6 - A2* \\
 & S23*C6*S5*S2*A6 - A2*S23*C5*S2*D6 + A2*S23*S5*C4*C2*D6 - D4*C6*C5*C4*A6 + D4*S5*C4*D6 - C6*S6*S5*S4*A6 - \\
 & S6*C5*S4*D6*A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{26} = & M6*A6*(A5*C23*S23*C6*S5*S4 - 2*A5*C23*S23*C6*S5 - A5*C23*S23*C6*S4 + A5*C23*S23*C6 + A5*C23*S23*S6*C5*C4* \\
 & S4 - 2*A5*S23*C6*C5*S5*C4 - A5*S23*S6*S5*S4 + A5*C6*C5*S5*C4 + A5*S6*S5*S4 + A2*C23*C6*C5*C4*S2 - A2* \\
 & C23*C6*S5*C2 + A2*C23*S6*S4*S2 - A2*S23*C6*C5*C4*C2 - A2*S23*C6*S5*S2 - A2*S23*S6*S4*C2 - D4*C6*C5*C4 \\
 & - D4*S6*S4 + C6*C4*D6 + S6*C5*S4*D6)
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{21} = 0$$

$$\sigma_{22} = 0$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{23} = & M5*A5*(2*A5*C23*C5*S5*C4 - A5*S23*S5*C4 + A5*S23*S5*S4 - A5*S23*S5 - A5*S23*C4 - A5*S23*S4 + A5*S23 + 2 \\
 & *A2*C5*C4*S2 - 2*D4*C23*C5*C4) + \\
 & 2*M6*(A5*C23*C5*S5*C4 + A5*S23*S5*S4 - A5*S23*S5 - A5*S23*S4 + A5*S23 + A5*A2*C5*C4*S2 - A5*D4*C23*C5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & S5^2 * C4 * S4 * A6 - 2 * S23 * C6 * S6 * C4 * S4 * A6 - S23 * C6 * S5 * D6 - 2 * S23 * S6 * C5 * S4 * A6 + S23 * S6^2 * C5 * S4 * A6 + S23 * S6^2 \\
 & * C5 * A6 + S23 * S6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 + S23 * C5 * S4 * A6 - S23 * C5 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{26} = & 2 * M4 * A2 * D4 * (C23 * C2 + S23 * S2) + \\
 & 2 * M5 * A2 * (A5 * C23 * C5 * C4 * S2 - A5 * C23 * S5 * C2 - A5 * S23 * S5 * S2 + D4 * C23 * C2 + D4 * S23 * S2) + \\
 & 2 * M6 * (A5^2 * C23 * S23 * S5 * S4^2 - 2 * A5^2 * C23 * S23 * S5^2 - A5^2 * C23 * S23 * S4^2 + A5^2 * C23 * S23 * S5^2 - 2 * A5^2 * S23^2 * C5 * S5 * C4 + A5^2 * C5 * \\
 & S5 * C4 + A5 * A2 * C23 * C5 * C4 * S2 - A5 * A2 * S23 * S5 * S2 + 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * S5 + 2 * A5 * D4 * S23 * C5 * C4 - A5 * D4 * C5 * C4 + 2 \\
 & * A5 * C23 * S23 * C6 * S5^2 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5^2 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * A6 + 2 * A5 * \\
 & C23 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * D6 - 4 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - \\
 & 2 * A5 * S23^2 * S6 * S5 * S4 * A6 + 4 * A5 * S23^2 * S5 * C4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * C4 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + A5 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 \\
 & * A5 * S5^2 * C4 * D6 + A5 * C4 * D6 + A2 * D4 * C23 * C2 + A2 * D4 * S23 * S2 + A2 * C23 * C6 * C5 * C4 * S2 * A6 - A2 * C23 * C6 * S5 * C2 * A6 + A2 \\
 & * C23 * S6 * S4 * S2 * A6 - A2 * C23 * C5 * C2 * D6 - A2 * C23 * S5 * C4 * S2 * D6 - A2 * S23 * C6 * C5 * C4 * C2 * A6 - A2 * S23 * C6 * S5 * S2 * A6 - \\
 & A2 * S23 * S6 * S4 * C2 * A6 - A2 * S23 * C5 * S2 * D6 + A2 * S23 * S5 * C4 * C2 * D6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{27} = & 2 * M5 * A5 * S4 * (A5 * S5^2 * C4 - A5 * C4 - A2 * C23 * C5 * C2 - A2 * S23 * C5 * S2) + \\
 & 2 * M6 * (- A5^2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 + A5^2 * S23^2 * S5^2 * C4 * S4 - A5^2 * S23^2 * C4 * S4 - A5 * A2 * S23 * C5 * S4 * S2 + A5 * D4 * C23 * S23 * C5 * S4 \\
 & - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5^2 * S4 * D6 - A5 * C23 * S23 * S4 * D6 + 2 * \\
 & A5 * S23^2 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * S6 * C5 * S4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * \\
 & C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - A2 * C23 * C6 * C5 * S4 * C2 * A6 + A2 * C23 * S6 * C4 * C2 * A6 - A2 * C23 * S5 * S4 * C2 * D6 - A2 * S23 * C6 * C5 * S4 * S2 * A6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2,10} = & 2 * M5 * A5 * S4 * (A5 * S5 * C4 - A5 * C4 - A2 * C23 * C5 * C2 - A2 * S23 * C5 * S2) + \\ & 2 * M6 * (- A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 + A5 * S23 * S5 * C4 * S4 - A5 * S23 * C4 * S4 - A5 * A2 * S23 * C5 * S4 * S2 + A5 * D4 * C23 * S23 * C5 * S4 \\ & - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5 * S4 * D6 - A5 * C23 * S23 * S4 * D6 + 2 * \\ & A5 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23 * C6 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23 * S6 * C5 * S4 * A6 + A5 * S23 * S6 * C5 * A6 + 2 * A5 * S23 * \\ & C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - A2 * C23 * C6 * C5 * S4 * C2 * A6 + A2 * C23 * S6 * C4 * C2 * A6 + A2 * C23 * S5 * S4 * C2 * D6 - A2 * S23 * C6 * C5 * S4 * S2 * A6 \\ & + A2 * S23 * S6 * C4 * S2 * A6 + A2 * S23 * S5 * S4 * S2 * D6 - 2 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6 + C6 * S6 * C5 * A6 + 2 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 \\ & - S6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * S6 * C4 * S4 * A6 + 2 * S6 * S5 * S4 * D6 * A6 - S6 * S5 * D6 * A6 - S5 * C4 * S4 * D6 + S5 * C4 * S4 * A6 \\ & - C4 * S4 * A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2,11} = & 2 * M5 * A5 * (A5 * C5 * S5 * S4 + A2 * C23 * C5 * S2 - A2 * C23 * S5 * C4 * C2 - A2 * S23 * C5 * C2 - A2 * S23 * S5 * C4 * S2 - D4 * C5) + \\ & 2 * M6 * (- 2 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5 * C23 * S23 * C4 + A5 * S23 * C5 * S5 * S4 - 2 * A5 * S23 * C5 * S5 + A5 * C5 * S5 + A5 * A2 * C23 \\ & * C5 * S2 - A5 * A2 * S23 * S5 * C4 * S2 + A5 * D4 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5 * D4 * S23 * C5 - A5 * D4 * C5 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * A6 \\ & + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C4 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 \\ & - 4 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * A6 - A5 * S23 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23 * S5 * S4 * D6 + 4 * A5 * S23 * S5 * D6 + A5 * S23 * \\ & S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * A6 - 2 * A5 * S5 * D6 + A5 * D6 + A2 * C23 * C6 * C5 * S2 * A6 - A2 * C23 * C6 * S5 * C4 * C2 \\ & * A6 - A2 * C23 * C5 * C4 * C2 * D6 - A2 * C23 * S5 * S2 * D6 - A2 * S23 * C6 * C5 * C2 * A6 - A2 * S23 * C6 * S5 * C4 * S2 * A6 - A2 * S23 * C5 * C4 * \\ & S2 * D6 + A2 * S23 * S5 * C2 * D6 - D4 * C6 * C5 * A6 + D4 * S5 * D6 - C6 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 + C6 * S4 * D6 * \\ & A6 - S6 * C5 * S5 * S4 * A6 - S6 * C5 * C4 * S4 * D6 * A6 - C5 * S5 * S4 * D6 + C5 * S5 * S4 * A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2.12} = & 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * C4 + A5 * S23 * C6 * C5 * C4 * S4 - A5 * S23 * S6 * S5 * S4^2 + 2 * A5 * S23 * S6 * S5^2 + A5 * S23 * S6 * S4^2 - A5 * S23 * S6 - A5 * S6 * S5^2 + A2 * C23 * C6 * S4 * C2 - A2 * C23 * S6 * C5 * C4 * C2 - A2 * C23 * S6 * S5 * S2 + A2 * S23 * C6 * S4 * S2 - A2 * S23 * S6 * C5 * C4 * S2 + D4 * S6 * S5 - C6 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * C6 * S6 * S4 * A6 - C6 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 - S6 * C5 * S5 * S4 * D6 + C5 * C4 * S4 * A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2.13} = & M5 * A5 * S4 * (A5 * C5^2 - A5 * S5^2 - A5 - 2 * A2 * C23 * S5 * S2 + 2 * A2 * S23 * S5 * C2 + 2 * D4 * S5) + \\ & 2 * S4 * M6 * (- A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * S23 * S5^2 - A5 * S5^2 - A5 * S5 - A5 * A2 * C23 * S5 * S2 - A5 * D4 * S23 * S5 + A5 * D4 * S5 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 * D6 - A5 * C23 * S23 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * A6 + 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * D6 - 2 * A5 * C6 * S5 * A6 - A2 * C23 * C6 * S5 * S2 * A6 - A2 * C23 * C5 * S5 * D6 + A2 * S23 * C6 * S5 * C2 * A6 + A2 * S23 * C5 * S5 * A6 + D4 * C6 * S5 * A6 + D4 * C5 * D6 - 2 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 + S6 * S5 * A6 + S5 * D6 - S5 * A6 - D6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2.14} = & 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S4^2 - A5 * C23 * S23 * C6 * C5 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * S4 - A5 * C23 * S23 * S6 * C4 * S4 + A5 * S23 * C6 * S5 * C4 + A5 * S23 * S6 * C5 * S5 * S4 - A5 * C6 * S5 * C4 - A5 * S6 * C5 * S5 * S4 - A2 * C23 * C6 * C4 * S2 - A2 * C23 * S6 * C5 * S4 * S2 + A2 * S23 * C6 * C4 * C2 + A2 * S23 * S6 * C5 * S4 * C2 + D4 * C6 * C4 + D4 * S6 * C5 * S4 * A6 - C6 * S6 * C5 * S5 * S4 * A6 - C6 * C5 * C4 * D6 + S6 * S5 * C4 * A6 + S6 * S5 * S4 * D6 - S6 * S4 * D6 - S5 * C4 * A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2.15} = & 2 * S6 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4^2 - 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 + 2 * A5 * S23 * S5 * C4 - A5 * S23 * C4 - A5 * S5 * C4 - A2 * C23 * C5 * C2 - A2 * C23 * S5 * C4 * S2 + A2 * S23 * C5 * S2 + D4 * S5 * C4 - C6 * C4 * A6 - S6 * C5 * S4 * A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 = & - C_2 * M_2 * A_2 - C_2 * M_3 * A_2 - M_4 * (A_2 * C_2 + D_4 * S_23) + M_5 * (- A_5 * C_23 * C_5 * C_4 + A_5 * S_23 * S_5 - A_2 * C_2 - D_4 * S_23) + \\
 & M_6 * (- A_2 * C_2 - D_4 * S_23 - C_23 * C_6 * C_5 * C_4 * A_6 - C_23 * S_6 * S_4 * A_6 + C_23 * S_5 * C_4 * D_6 + S_23 * C_6 * S_5 * A_6 + S_23 * C_5 * D_6)
 \end{aligned}$$

(3) τ_3 に関する内容

$$\begin{aligned}
J_{31} = & M5 * A5 * S4 * (A5 * C23 * C5 * S5 - A5 * S23 * S5 * C4 + A5 * S73 * C4 - D4 * C23 * CS) + \\
& M6 * (A5 * C23 * C5 * S5 * S4 - A5 * S23 * S5 * C4 * S4 + A5 * S23 * C4 * S4 - A5 * D4 * C23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 - A5 * C23 * \\
& S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S5 * S4 * D6 + A5 * C23 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * \\
& S23 * S6 * C5 * S4 * A6 - A5 * S23 * S6 * C5 * A6 - 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - D4 * C23 * C6 * C5 * S4 * A6 + D4 * \\
& C23 * S5 * S4 * D6 - C23 * C6 * S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * C23 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 + C23 * C6 * S4 * D6 * A6 - C23 * S6 * C5 * S5 * S4 * A6 - C23 * \\
& S6 * C5 * C4 * D6 * A6 - C23 * C5 * S5 * S4 * D6 + C23 * C5 * S5 * S4 * A6 + 2 * S23 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6 - 2 * S23 * \\
& C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 + S23 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * S23 * S6 * C4 * S4 * A6 - 2 * S23 * S6 * S5 * S4 * D6 * \\
& A6 + S23 * S5 * C4 * S4 * D6 - S23 * S5 * C4 * S4 * A6 + S23 * C4 * S4 * A6) \\
J_{32} = & M4 * D4 * (- A2 * C23 * S2 + A2 * S23 * C2 + D4) + \\
& M5 * (A5 * S5 * S4 - A5 * S4 + A5 + A5 * A2 * C23 * C5 * C4 * C2 + A5 * A2 * C23 * S5 * S2 + A5 * A2 * S23 * C5 * C4 * S2 - A5 * A2 * S23 * S5 * C2 \\
& - 2 * A5 * D4 * S5 - A2 * D4 * C23 * S2 + A2 * D4 * S23 * C2 + D4) + \\
& M6 * (2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * S23 * S5 * S4 - 2 * A5 * S23 * S5 - A5 * S23 * S4 + A5 * S23 + A5 * S5 + A5 * A2 * C23 \\
& * S5 * S2 + A5 * A2 * S23 * C5 * C4 * S2 - 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * C5 * C4 + 2 * A5 * D4 * S23 * S5 - 2 * A5 * D4 * S5 + 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 \\
& * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 \\
& - 4 * A5 * S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C6 * A6 + 2 * A5 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C5 * \\
& S5 * S4 * D6 - 4 * A5 * S23 * C5 * S5 * D6 + 2 * A5 * C6 * S5 * A6 + 2 * A5 * C5 * S5 * D6 - A2 * D4 * C23 * S2 + A2 * D4 * S23 * C2 + A2 * C23 * C6 *
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & C5 * C4 * C2 * A6 + A2 * C23 * C6 * S5 * S2 * A6 + A2 * C23 * S6 * S4 * C2 * A6 + A2 * C23 * C5 * S2 * D6 - A2 * C23 * S5 * C4 * C2 * D6 + A2 * S23 * C6 * \\
 & C5 * C4 * S2 * A6 - A2 * S23 * C6 * S5 * C2 * A6 + A2 * S23 * S6 * S4 * S2 * A6 - A2 * S23 * C5 * C2 * D6 - A2 * S23 * S5 * C4 * S2 * D6 + D4^2 - 2 * D4 * \\
 & C6 * S5 * A6 - 2 * D4 * C5 * D6 + 2 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6^2 + 2 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 - S6 * S5 * S4 * A6^2 + 2 * S6 * S4 * A6 - \\
 & S6^2 * A6 - 2 * S6 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 - S5 * S4 * D6^2 + S5 * S4 * A6 - S4 * A6^2 + D6^2 + A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{33} = & M4 * D4^2 + M5 * (A5 * S5 * S4 - A5 * S4 + A5^2 - 2 * A5 * D4 * S5 + D4^2) + \\
 & M6 * (2 * A5^2 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5^2 * S23 * S5 * S4 - 2 * A5 * S23 * S5 - A5 * S23 * S4 + A5 * S23^2 + A5 * S5^2 - 2 * A5 * D4 * \\
 & C23 * S23 * C5 * C4 + 2 * A5 * D4 * S23 * S5 - 2 * A5 * D4 * S5 + 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 - 4 * \\
 & A5 * C23 * S23 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * A5 * S23 * C6 * \\
 & S4 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * A6 + 2 * A5 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * C5 * S5 * S4 * D6 - 4 * A5 * S23 * C5 * S5 * D6 + 2 * A5 * \\
 & C6 * S5 * A6 + 2 * A5 * C5 * S5 * D6 + D4^2 - 2 * D4 * C6 * S5 * A6 - 2 * D4 * C5 * D6 + 2 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6^2 + 2 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 \\
 & - S6^2 * S5 * S4 * A6^2 + 2 * S6 * S4 * A6 - S6 * A6^2 - 2 * S6 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 - S5 * S4 * D6^2 + S5 * S4 * A6 - S4 * A6^2 \\
 & + D6^2 + A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{34} = & M5 * A5 * C5 * S4 * (A5 * S5 - D4^2) + \\
 & M6 * (- A5^2 * C23 * S23 * S5 * C4 * S4 + A5^2 * C23 * S23 * C4 * S4 - A5^2 * S23 * C5 * S5 * S4 + A5 * C5 * S5 * S4 + A5 * D4 * S23^2 * C5 * S4 - A5 * D4 \\
 & * C5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S4 * A6 - A5 * C23 * S23 * \\
 & S6 * C5 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * S5 * S4 \\
 & * D6 - A5 * S23^2 * S4 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 - A5 * S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * S5 * S4 * D6 + A5 * S4 * D6 - D4 * C6 * C5 * S4 * A6 +
 \end{aligned}$$

$$D4*S6*C4*A6 + D4*S5*S4*D6 - C6*S6*S5*C4*A6^2 - 2*C6*S5*S4*D6*A6 + C6*S4*D6*A6^2 - S6*C5*S5*S4*A6^2 - S6*C5* \\ C4*D6*A6 - C5*S5*S4*D6^2 + C5*S5*S4*A6^2)$$

$$J_{36} = M5*A5*C4*(A5 - D4*S5) + \\ M6*(- A5^2 * C23*S23*C5*S5*S4^2 + 2*A5^2 * C23*S23*C5*S5 - 2*A5^2 * S23^2 * S5^2 * C4 + A5^2 * S23^2 * C4 + A5^2 * S5^2 * C4 - A5*D4*C23* \\ S23*C5 + A5*D4*S23^2 * S5*C4 - A5*D4*S5*C4 - 2*A5*C23*S23*C6*C5*S5*S4^2 * A6 + 4*A5*C23*S23*C6*C5*S5*A6 + A5*C23 \\ *S23*S6*S5*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*S5^2 * S4^2 * D6 - 4*A5*C23*S23*S5^2 * D6 + 2*A5*C23*S23*D6^2 \\ - 4*A5*S23^2 * C6*S5^2 * C4*A6 + 2*A5*S23^2 * C6*C4*A6 + A5*S23^2 * S6*C5*S4*A6 - 4*A5*S23^2 * C5*S5*C4*D6 + 2*A5*C6*S5 \\ *C4*A6 + 2*A5*C5*S5*C4*D6 - D4*C6*S5*C4*A6 - D4*C5*C4*D6 + C6*S6*C5*S4*A6^2 - S6*C4*A6^2 - S6*S5*S4*D6*A6 \\ + C4*D6^2 + C4*A6^2)$$

$$J_{36} = M6*A6*(- A5^2 * C23*S23*C6*C5*C4*S4^2 + A5^2 * C23*S23*S6*S5^2 * S4^2 - 2*A5^2 * C23*S23*S6*S5^2 - A5^2 * C23*S23*S6*S4^2 + A5^2 * C23* \\ S23*S6 + A5*S23^2 * C6*S5*S4 - 2*A5*S23^2 * S6*C5*S5*C4 - A5*C6*S5*S4 + A5*S6*C5*S5*C4 + D4*C6*S4 - D4*S6*C5* \\ C4 - C6*C5*S4*D6 + S6*C4*D6 - S5*S4*A6)$$

$$\Lambda_{31} = - (M4*D4*C23)*(A2*C2 + D4*S23) + \\ M5*(A5^2 * C23^2 * C5*S5*C4 + A5^2 * C23*S23*S5^2 * S4^2 - 2*A5^2 * C23*S23*S5^2 * S4^2 - A5^2 * C23*S23*S4^2 + A5^2 * S23^2 * C5* \\ S5*C4 + A5*A2*C23*S5*C2 + A5*A2*S23*C3*C4*C2 - A5*D4*C23^2 * C5*C4 + 2*A5*D4*C23*S23*S5 + A5*D4*S23^2 * C5*C4 - \\ A2*D4*C23*C2 - D4^2 * C23*S23) +$$

$$\begin{aligned}
 M6 &= (A5^2 * C23 * S23 * S5 * S4^2 - 2 * A5^2 * C23 * S23 * S5^2 - A5^2 * C23 * S23 * S4^2 + A5^2 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5^2 * C5 * S5 * C4^2 + A5^2 * C5 * S5 * C4^2 - 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * S5^2 + 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * S5 * C4 - A5 * D4 * C5 * C4^2 + 2 * A5 * C4^2 * C23 * S23 * S5 * S4^2 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5^2 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S4^2 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4^2 * A6 - 4 * A5 * S23^2 * C4 * D6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * D6 - 4 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * S6 * S5 * S4 * A6 + 4 * A5 * S23^2 * S5 * C4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * C4 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + A5 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * A5 * S5 * C4 * D6 + A5 * C4 * D6 - A2 * D4 * C23 * C2 + A2 * C23 * C6 * S5 * C2 * A6 + A2 * C23 * C5 * C2 * D6 + A2 * S23 * C6 * C5 * C4 * C2 * A6 + A2 * S23 * S6 * S4 * C2 * A6 - A2 * S23 * S5 * C4 * C2 * D6 - D4 * C23 * S23 + 2 * D4 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 + 2 * D4 * C23 * S23 * C5 * D6 + 2 * D4 * S23^2 * C6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * D4 * S23^2 * S6 * S4 * A6 - 2 * D4 * S23^2 * S5 * S4 * A6 - 2 * D4 * S23^2 * S5 * C4 * D6 - D4 * C6 * C5 * C4 * A6 - D4 * S6 * S4 * A6 + D4 * S5 * C4 * D6 + 2 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 - 4 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 - C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * S6 * S5 * A6^2 + 2 * C23 * S23 * S6 * S4 * A6^2 - C23 * S23 * S6 * S4 * A6^2 - C23 * S23 * S5 * D6^2 + 2 * C23 * S23 * S5 * D6^2 - 2 * C23 * S23 * S5 * D6^2 - 2 * C23 * S23 * S4 * A6^2 - C23 * S23 * S4 * A6^2 + C23 * S23 * A6^2 - 2 * S23^2 * C6 * S6 * S5 * S4 * A6^2 + 4 * S23^2 * C6 * D6 * A6 - 2 * S23^2 * C6 * C4 * D6 * A6 + 2 * S23^2 * S6 * C5 * S5 * C4 * A6^2 - 2 * S23^2 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 + 2 * S23^2 * C5 * S5 * C4 * D6 - 2 * S23^2 * C5 * S5 * C4 * A6^2 + C6 * S6 * S5 * S4 * A6^2 - 2 * C6 * S5 * C4 * A6^2 + S6 * C5 * S4 * D6 * A6 - C5 * S5 * C4 * D6^2 + C5 * S5 * C4 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\wedge_{32} = - (M4 * A2 * D4) * (C23 * C2 + S23 * S2) +$$

$$M5 = A2 * (- A5 * C23 * C5 * C4 * S2 + A5 * C23 * S5 * C2 + A5 * S23 * C5 * C4 * C2 + A5 * S23 * S5 * S2 - D4 * C23 * C2 - D4 * S23 * S2) +$$

$$M6 = (A5^2 * C23 * S23 * S5 * S4^2 - 2 * A5^2 * C23 * S23 * S5^2 - A5^2 * C23 * S23 * S4^2 + A5^2 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5^2 * C5 * S5 * C4^2 + A5^2 * C5 * S5 * C4^2 - 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * S5^2 + 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * S5 * C4 - A5 * D4 * C5 * C4^2 + 2 * A5 * C4^2 * C23 * S23 * S5 * S4^2 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5^2 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S4^2 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * S23^2 * C4 * D6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * D6 - 4 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * S6 * S5 * S4 * A6 + 4 * A5 * S23^2 * S5 * C4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * C4 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + A5 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * A5 * S5 * C4 * D6 + A5 * C4 * D6 - A2 * D4 * C23 * C2 + A2 * C23 * C6 * S5 * C2 * A6 + A2 * C23 * C5 * C2 * D6 + A2 * S23 * C6 * C5 * C4 * C2 * A6 + A2 * S23 * S6 * S4 * C2 * A6 - A2 * S23 * S5 * C4 * C2 * D6 - D4 * C23 * S23 + 2 * D4 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 + 2 * D4 * C23 * S23 * C5 * D6 + 2 * D4 * S23^2 * C6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * D4 * S23^2 * S6 * S4 * A6 - 2 * D4 * S23^2 * S5 * S4 * A6 - 2 * D4 * S23^2 * S5 * C4 * D6 - D4 * C6 * C5 * C4 * A6 - D4 * S6 * S4 * A6 + D4 * S5 * C4 * D6 + 2 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 - 4 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 - C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * S6 * S5 * A6^2 + 2 * C23 * S23 * S6 * S4 * A6^2 - C23 * S23 * S6 * S4 * A6^2 - C23 * S23 * S5 * D6^2 + 2 * C23 * S23 * S5 * D6^2 - 2 * C23 * S23 * S5 * D6^2 - 2 * C23 * S23 * S4 * A6^2 - C23 * S23 * S4 * A6^2 + C23 * S23 * A6^2 - 2 * S23^2 * C6 * S6 * S5 * S4 * A6^2 + 4 * S23^2 * C6 * D6 * A6 - 2 * S23^2 * C6 * C4 * D6 * A6 + 2 * S23^2 * S6 * C5 * S5 * C4 * A6^2 - 2 * S23^2 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 + 2 * S23^2 * C5 * S5 * C4 * D6 - 2 * S23^2 * C5 * S5 * C4 * A6^2 + C6 * S6 * S5 * S4 * A6^2 - 2 * C6 * S5 * C4 * A6^2 + S6 * C5 * S4 * D6 * A6 - C5 * S5 * C4 * D6^2 + C5 * S5 * C4 * A6^2)$$

$$\begin{aligned}
 & C4 + A5 * A2 * C23 * S5 * C2 + A5 * A2 * S23 * C5 * C4 * C2 + 2 * A5 * D4 * C23 * S23 * S5 + 2 * A5 * D4 * S23 * C5 * C4 - A5 * D4 * C5 * C4 + 2 * A5 * \\
 & C23 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * A6 + 2 * A5 * C23 * \\
 & S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 4 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * \\
 & S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 4 * A5 * S23 * S5 * C4 * D6 - 2 * A5 * S23 * C4 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + A5 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * A5 * S5 \\
 & * C4 * D6 + A5 * C4 * D6 - A2 * D4 * C23 * C2 - A2 * D4 * S23 * S2 - A2 * C23 * C6 * C5 * C4 * S2 * A6 + A2 * C23 * C6 * S5 * C2 * A6 - A2 * C23 * S6 * \\
 & S4 * S2 * A6 + A2 * C23 * C5 * C2 * D6 + A2 * C23 * S5 * C4 * S2 * D6 + A2 * S23 * C6 * C5 * C4 * C2 * A6 + A2 * S23 * C6 * S5 * S2 * A6 + A2 * S23 * S6 * \\
 & S4 * C2 * A6 + A2 * S23 * C5 * S2 * D6 - A2 * S23 * S5 * C4 * C2 * D6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \wedge_{33} = & A5 * M6 * (A5 * C23 * S23 * S5 * S4)^2 - 2 * A5 * C23 * S23 * S5^2 - A5 * C23 * S23 * S4^2 + A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * C5 * S5 * C4 \\
 & + 2 * D4 * C23 * S23 * S5 + 2 * D4 * S23 * C5 * C4 - D4 * C5 * C4 + 2 * C23 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 - 4 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * C23 \\
 & * S23 * C6 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * C6 * A6 + 2 * C23 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 4 * C23 * S23 * C5 * S5 * \\
 & D6 - 4 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - 2 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 4 * S23 * S5 * C4 * D6 - 2 * S23 * C4 * D6 + 2 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + \\
 & S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * S5 * C4 * D6 + C4 * D6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \wedge_{34} = & M6 * (A5 * C23 * S23 * S5 * S4)^2 - A5 * C23 * S23 * S5^2 - A5 * C23 * S23 * S4^2 + A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * C5 * S5 * C4 \\
 & + A5 * D4 * S23 * C5 * C4 - A5 * D4 * C5 * C4 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * \\
 & S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 \\
 & * D6 - 2 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - A5 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * S5 * C4 * D6 - A5 * S23 * C4 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 \\
 & * C4 * A6 + A5 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * A5 * S5 * C4 * D6 + A5 * C4 * D6 - D4 * C6 * C5 * C4 * A6 - D4 * S6 * S4 * A6 + D4 * S5 * C4 * D6 + C6 * S6 *
 \end{aligned}$$

$$S5*S4*A6^2 - 2*C6*S5*C4*D6*A6 + C6*C4*D6*A6^2 - S6*C5*S5*C4*A6^2 + S6*C5*S4*D6*A6 - C5*S5*C4*D6^2 + C5*S5*S4*A6^2 + M5*A5*C5*C4*(A5*S5 - D4)$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{36} = & M6*(A5^2 * C23*S23*S5^2 * S4^2 - 2*A5^2 * C23*S23*S5^2 - A5^2 * C23*S23*S4^2 + A5^2 * C23*S23 - 2*A5^2 * S23 * C5*S5*C4 + A5^2 * C5*S5*S4^2 * C4 + A5*D4*C23*S23*S5 + A5*D4*S23^2 * C5*C4 - A5*D4*C5*C4 + 2*A5*C23*S23*C6*S5^2 * S4 * A6 - 4*A5*C23*S23*C6*S5^2 * A6 - 2*A5*C23*S23*S6*S4 * A6 + 2*A5*C23*S23*S6*C6*A6 + A5*C23*S23*S6*C5*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*C5*S5*S4^2 * D6 - 4*A5*C23*S23*C5*S5*D6 - 4*A5*S23^2 * C6*C5*S5*C4*A6 - A5*S23^2 * S6*S5*S4*A6 + 4*A5*S23^2 * S5 * C4*D6 - 2*A5*S23^2 * C4*D6 + 2*A5*C6*C5*S5*C4*A6 - 2*A5*S5^2 * C4*D6 + A5*C4*D6 - D4*C6*C5*C4*A6 + D4*S5*C4*D6 - C6*S6*S5*S4^2 * A6 - S6*C5*S4*D6*A6) - M5*A5*D4*C5*C4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{38} = & M6*A6*(A5^2 * C23*S23*C6*S5^2 * S4^2 - 2*A5^2 * C23*S23*C6*S5^2 - A5^2 * C23*S23*C6*S4^2 + A5^2 * C23*S23*C6 + A5^2 * C23*S23*S6*C5*C4^2 * S4 - 2*A5*S23^2 * C6*C5*S5*C4 - A5*S23^2 * S6*S5*S4 + A5*C6*C5*S5*C4 + A5*S6*S5*S4 - D4*C6*C5*C4 - D4*S6*S4^2 + C6*C4*D6 + S6*C5*S4*D6) \end{aligned}$$

$$\sigma_{31} = 0$$

$$\sigma_{32} = 0$$

$$\begin{aligned} \sigma_{33} = & M5*A5*(2*A5^2 * C23*C5*S5*C4 - A5^2 * S23*S5^2 * C4 + A5^2 * S23*S5^2 * S4 - A5^2 * S23*S5^2 + A5^2 * S23*S4^2 - A5^2 * S23 - 2 * D4 * C23 * C5 * C4) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 2^2 * M6 * (A5 * C23 * C5 * S5 * C4 + A5 * S23 * S5 * S4 - A5 * S23 * S5^2 - A5 * S23 * S4^2 + A5 * S23 - A5 * D4 * C23 * C5 * C4 + 2 * A5 * C23 * C6 \\
 & * C5 * S5 * C4 * A6 + A5 * C23 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S5^2 * C4 * D6 + A5 * C23 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 - 2 * A5 * \\
 & S23 * C6 * S5 * A6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - \\
 & 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * D6 - D4 * C23 * C6 * C5 * C4 * A6 - D4 * C23 * S6 * S4 * A6 + D4 * C23 * S5 * C4 * D6 + C23 * C6 * S6 * S5 * S4 * A6 - 2 * C23 \\
 & * C6 * S5^2 * C4 * D6 * A6 + C23 * C6 * C4 * D6 * A6 - C23 * S6^2 * C5 * S5 * C4 * A6 + C23 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 - C23 * C5 * S5 * C4 * D6 + C23 * \\
 & C5 * S5 * C4 * A6 + 2 * S23 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 - 2 * S23 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 - S23 * S6^2 * S5 * \\
 & S4 * A6 + S23 * S6^2 * S5 * A6 + 2 * S23 * S6 * S4 * A6 - S23 * S6^2 * A6 - 2 * S23 * S6 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 - S23 * S5^2 * S4 * D6 \\
 & + S23 * S5^2 * S4 * A6 + S23 * S5 * D6 - S23 * S5 * A6 - S23 * S4 * A6 + S23 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 O_{34} &= M5 * A5 * S4 * (A5 * C23 * C5^2 - A5 * C23 * S5^2 - A5 * C23 - 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * C4 + 2 * D4 * C23 * S5) + \\
 & 2 * S4 * M6 * (- A5 * C23 * S5^2 - A5 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * D4 * C23 * S5 - 2 * A5 * C23 * C6 * S5 * A6 - 2 * A5 * C23 * C5 * S5 * D6 - 2 * A5 * S23 * \\
 & C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - A5 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * S5^2 * C4 * D6 - A5 * S23 * C4 * D6 + D4 * C23 * C6 * S5 * A6 + D4 * C23 * C5 \\
 & * D6 - 2 * C23 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 + C23 * S6^2 * S5 * A6 + C23 * S5^2 * D6 - C23 * S5^2 * A6 - C23 * D6^2 - S23 * C6 * S6 * S5 * S4 * \\
 & A6 + 2 * S23 * C6 * S5^2 * C4 * D6 * A6 - S23 * C6 * C4 * D6 * A6 + S23 * S6^2 * C5 * S5 * C4 * A6 - S23 * S6 * C5 * S4 * D6 * A6 + S23 * C5 * S5 \\
 & * C4 * D6 - S23 * C5 * S5 * C4 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 O_{35} &= 2 * M6 * A6 * (- A5 * C23 * C6 * S5 * C4 - A5 * C23 * S6 * C5 * S5 * S4 + A5 * S23 * C6 * C5 * S4^2 - A5 * S23 * C6 * C5 + A5 * S23 * S6 * S5^2 * C4 * S4 - A5 * \\
 & S23 * S6 * C4 * S4 + D4 * C23 * C6 * C4 + D4 * C23 * S6 * C5 * S4 - C23 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6 - C23 * C6 * C5 * C4 * D6 + C23 * S6^2 * S5 *
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & C4*A6 + C23*S6*S5*S4*D6 - C23*S6*S4*D6 - C23*S5*S4*A6 + S23*C6*S6*S5*C4*S4*A6 - 2*S23*C6*S6*C4*S4* \\
 & A6 - S23*C6*S5*S4*D6 + S23*C6*S5*D6 - 2*S23*S6*C5*S4*A6 + S23*S6*C5*S5*C4*S4*D6 + \\
 & S23*C5*S4*A6 - S23*C5*A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{36} = & 2*A5*M6*(A5*C23*S23*S5*S4 - 2*A5*C23*S23*S5 - A5*C23*S23*S4 + A5*C23*S23*S5*S4 + A5*C5*S5*S \\
 & C4 + 2*D4*C23*S23*S5 + 2*D4*S23*C5*C4 - D4*C5*C4 + 2*C23*S23*C6*S5*S4*A6 - 4*C23*S23*C6*S5*A6 - 2 \\
 & *C23*S23*C6*S4*A6 + 2*C23*S23*C6*A6 + 2*C23*S23*S6*C5*C4*S4*A6 + 2*C23*S23*C5*S5*S4*D6 - 4*C23*S23* \\
 & C5*S5*D6 - 4*S23*C6*C5*S5*C4*A6 - 2*S23*S6*S5*S4*A6 + 4*S23*S5*C4*D6 - 2*S23*C4*D6 + 2*C6*C5*S5* \\
 & C4*A6 + S6*S5*S4*A6 - 2*S5*C4*D6 + C4*D6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{37} = & 2*M5*A5*C4*S4*(S5 - 1) + \\
 & 2*M6*(- A5*C23*S23*C5*S5*S4 + A5*S23*S5*C4*S4 - A5*S23*C4*S4 + A5*D4*C23*S23*C5*S4 - 2*A5*C23*S23*C6*C5 \\
 & *S5*S4*A6 + A5*C23*S23*S6*S5*C4*A6 + 2*A5*C23*S23*S5*S4*D6 - A5*C23*S23*S4*D6 + 2*A5*S23*C6*S5*C4*S4* \\
 & A6 - 2*A5*S23*C6*C4*S4*A6 - 2*A5*S23*S6*C5*S4*A6 + A5*S23*S6*C5*A6 + 2*A5*S23*C5*S5*C4*S4*D6 - 2*C6 \\
 & *S6*C5*S4*A6 + C6*S6*C5*A6 + 2*C6*C5*S5*C4*S4*D6*A6 - S6*S5*C4*S4*A6 + 2*S6*C4*S4*A6 + 2*S6*S5* \\
 & S4*D6*A6 - S6*S5*D6*A6 - S5*C4*S4*D6 + S5*C4*S4*A6 - C4*S4*A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{38} = & 2*M6*(- 2*A5*C23*S23*S5*S4 + A5*C23*S23*C4 + A5*S23*C5*S5*S4 - 2*A5*S23*C5*S5 + A5*C5*S5 + A5*D4*C23 \\
 & *S23*S5*S4 + A5*D4*S23*C5 - A5*D4*C5 - 4*A5*C23*S23*C6*S5*C4*A6 + 2*A5*C23*S23*C6*C4*A6 + A5*C23*S23*
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & S6 * C5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * A6 - A5 * S23^2 * S6 * \\
 & S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * S5 * S4 * D6 + 4 * A5 * S23^2 * S5 * D6 + A5 * S23^2 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * A6 \\
 & - 2 * A5 * S5^2 * D6 + A5 * D6 - D4 * C6 * C5 * A6 + D4 * S5 * D6 - C6 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6^2 - 2 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 + C6 * S4 * D6 * A6^2 \\
 & - S6^2 * C5 * S5 * S4 * A6 - S6 * C5 * C4 * S4 * D6 * A6 - C5 * S5 * S4 * D6 + C5 * S5 * S4 * A6^2 + 2 * M5 * A5 * C5 * (A5 * S5 * S4 - D4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{39} = & 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * C4 + A5 * S23^2 * C6 * C5 * C4 * S4 - A5 * S23^2 * S6 * S5 * S4 + 2 * A5 * S23^2 \\
 & * S6 * S5 + A5 * S23^2 * S6 * S4 - A5 * S23^2 * S6 - A5 * S6 * S5 + D4 * S6 * S5 - C6 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * C6 * S6 * S4 * A6 - C6 \\
 & * S6 * A6 - C6 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 - S6 * C5 * S5 * S4 * D6 + C5 * C4 * S4 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{3.10} = & 2 * M6 * (- A5^2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 + A5^2 * S23^2 * S5 * C4 * S4 - A5^2 * S23^2 * C4 * S4 + A5 * D4 * C23 * S23 * C5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 \\
 & * S5 * S4 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5 * S4 * D6 - A5 * C23 * S23 * S4 * D6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * S5 * C4 * S4 * \\
 & A6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * S6 * C5 * S4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * C3 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * C6 \\
 & * S6 * C5 * S4 * A6 + C6 * S6 * C5 * A6^2 + 2 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 - S6^2 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * S6^2 * C4 * S4 * A6 + 2 * S6 * S5 * \\
 & S4 * D6 * A6 - S6 * S5 * D6 * A6 - S5^2 * C4 * S4 * D6 + S5^2 * C4 * S4 * A6 - C4 * S4 * A6^2 + 2 * M5 * A5^2 * C4 * S4 * (S5 - 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{3.11} = & 2 * M6 * (- 2 * A5^2 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5^2 * C23 * S23 * C4 + A5^2 * S23^2 * C5 * S5 * S4 - 2 * A5 * S23^2 * C5 * S5 + A5 * C5 * S5 + A5 * D4 * C23 \\
 & * S23 * S5 * C4 + A5 * D4 * S23^2 * C5 - A5 * D4 * C5 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C4 * A6 + A5 * C23 * S23 * \\
 & S6 * C5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * A6 - A5 * S23^2 * S6 * \\
 & S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * S5 * S4 * D6 + 4 * A5 * S23^2 * S5 * D6 + A5 * S23^2 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * A6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - 2 * A5 * S5 * D6 + A5 * D6 - D4 * C6 * C5 * A6 + D4 * S5 * D6 - C6 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 + C6 * S4 * D6 * A6 \\
 & - S6 * C5 * S5 * S4 * A6 - S6 * C5 * C4 * S4 * D6 * A6 - C5 * S5 * S4 * D6 + C5 * S5 * S4 * A6 + 2 * M5 * A5 * C5 * (A5 * S5 * S4 - D4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{3,12} = & 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * C4 + A5 * S23 * C6 * C5 * C4 * S4 - A5 * S23 * S6 * S5 * S4 + 2 * A5 * S23 * \\
 & * S6 * S5 + A5 * S23 * S6 * S4 - A5 * S23 * S6 - A5 * S6 * S5 + D4 * S6 * S5 - C6 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * C6 * S6 * S4 * A6 - C6 \\
 & * S6 * A6 - C6 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 - S6 * C5 * S5 * S4 * D6 + C5 * C4 * S4 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{3,13} = & 2 * S4 * M6 * (- A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * S23 * S5 - A5 * S5 - A5 * D4 * S23 * S5 + A5 * D4 * S5 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * \\
 & C4 * A6 - A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 * D6 - A5 * C23 * S23 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * A6 + 2 * \\
 & A5 * S23 * C5 * S5 * D6 - 2 * A5 * C6 * S5 * A6 - 2 * A5 * C5 * S5 * D6 + D4 * C6 * S5 * A6 + D4 * C5 * D6 - 2 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 + S6 * \\
 & S5 * A6 + S5 * D6 - S5 * A6 - D6) + M5 * A5 * S4 * (A5 * C5 - A5 * S5 - A5 + 2 * D4 * S5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{3,14} = & 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S4 - A5 * C23 * S23 * C6 * C5 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * S4 - A5 * C23 * S23 * S6 * C4 * S4 + A5 * S23 * C6 * \\
 & S5 * C4 + A5 * S23 * S6 * C5 * S5 * S4 - A5 * C6 * S5 * C4 - A5 * S6 * C5 * S5 * S4 + D4 * C6 * C4 + D4 * S6 * C5 * S4 - C6 * S6 * C5 * S5 * S4 * \\
 & A6 - C6 * C5 * C4 * D6 + S6 * S5 * C4 * A6 + S6 * S5 * S4 * D6 - S6 * S4 * D6 - S5 * C4 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{3,15} = & 2 * S6 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 + 2 * A5 * S23 * S5 * C4 - A5 * S5 * C4 + D4 * S5 * C4 \\
 & - C6 * C4 * A6 - S6 * C5 * S4 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_3 = & - M4*D4*S23 + M5*(- A5*C23*C5*C4 + A5*S23*SS - D4*S23) + \\
 & M6*(- D4*S23 - C23*C6*C5*C4*A6 - C23*S6*S4*A6 + C23*SS*C4*D6 + S23*C6*SS*A6 + S23*C5*D6)
 \end{aligned}$$

(4) τ_4 に関する内容

$$\begin{aligned}
J_{41} = & M5*A5*(- A5*C23*S5^2 + A5*C23 - A5*S23*C5*S5*C4 + A2*C5*C4*C2 + D4*S23*C5*C4) + \\
& M6*(- A5^2*C23*S5^2 + A5^2*C23 - A5^2*S23*C5*S5*C4 + A5*A2*C5*C4*C2 + A5*D4*S23*C5*C4 - 2*A5*C23*C6*S5^2*A6 + 2*A5^2 \\
& *C23*C6*A6 - 2*A5*C23*C5*S5*D6 - 2*A5*S23*C6*C5*S5*C4*A6 - A5*S23*S6*S5*S4*A6 + 2*A5*S23*S5^2*C4*D6 - A5* \\
& S23*C4*D6 + A2*C6*C5*C4*C2*A6 + A2*S6*S4*C2*A6 - A2*S5*C4*C2*D6 + D4*S23*C6*C5*C4*A6 + D4*S23*S6*S4*A6 - \\
& D4*S23*S5*C4*D6 - 2*C23*C6*C5*S5*D6*A6 + C23*S6^2*S5^2*A6 + C23*S5^2*A6 + C23*A6^2 - S23*C6*S6^2 \\
& *S5*S4*A6 + 2*S23*C6*S5^2*C4*D6*A6 - S23*C6*C4*D6*A6 + S23*S6^2*C5*S5*C4*A6 - S23*S6*C5*S4*D6*A6 + S23*C5^2 \\
& S5*C4*D6 - S23*C5*S5*C4*A6^2) \\
J_{42} = & M5*A5*C5*S4*(A5*S5 + A2*C23*S2 - A2*S23*C2 - D4) + \\
& M6*(- A5^2*C23*S23*S5^2*C4*S4 + A5^2*C23*S23*C4*S4 - A5^2*S23^2*C5*S5*S4 + A5^2*C5*S5*S4 + A5*A2*C23*C5*S4*S2 + A5^2 \\
& D4*S23^2*C5*S4 - A5*D4*C5*S4 - 2*A5*C23*S23*C6*S5^2*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*C6*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*S6*S6^2*C5 \\
& *S4^2*A6 - A5*C23*S23*S6^2*C5*A6 - 2*A5*C23*S23*C5*S5*C4*S4*D6 - 2*A5*S23^2*C6*C5*S5*S4*A6 + A5*S23^2*S6*S5^2*C4^2 \\
& A6 + 2*A5*S23^2*S5^2*S4*D6 - A5*S23^2*S4*D6 + 2*A5*C6*C5*S5*S4*A6 - A5*S6*S5*C4*A6 - 2*A5*S5^2*S4*D6 + A5*S4^2 \\
& D6 + A2*C23*C6*C5*S4*S2*A6 - A2*C23*S6^2*C4*S2*A6 - A2*C23*S5*S4*S2*D6 - A2*S23*C6*C5*S4*C2*A6 + A2*S23*S6^2 \\
& C4*C2*A6 + A2*S23*S5*S4*C2*D6 - D4*C6*C5*S4*A6 + D4*S6*C4*A6 + D4*S5*S4*D6 - C6*S6*S5*S4*A6^2 - 2*C6*S5^2*S4^2 \\
& *D6*A6 + C6*S4*D6*A6 - S6^2*C5*S5*S4*A6^2 - S6*C5*C4*D6*A6 - C5*S5*S4*D6^2 + C5*S5*S4*A6)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{43} = & M6*(- A5 * C23 * S23 * S5^2 * C4 * S4 + A5 * C23 * S23 * C4 * S4 - A5^2 * S23^2 * C5 * S5 * S4 + A5 * D4 * S23^2 * C5 * S4 - A5 * D4 \\
 & * C5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S4 * A6 - A5 * C23 * S23 * \\
 & S6 * C5 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * S5 * S4 \\
 & * D6 - A5 * S23^2 * S4 * D6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 - A5 * S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * A5 * S5^2 * S4 * D6 + A5 * S4 * D6 - D4 * C6 * C5 * S4 * A6 + \\
 & D4 * S6 * C4 * A6 + D4 * S5 * S4 * D6 - C6 * S6 * S5 * C4 * A6 - 2 * C6 * S5^2 * S4 * D6 * A6 + C6 * S4 * D6 * A6 - S6^2 * C5 * S5 * S4 * A6 - S6 * C5 * \\
 & C4 * D6 * A6 - C5 * S5 * S4 * D6^2 + C5 * S5 * S4 * A6^2) + M5 * A5 * C5 * S4 * (A5 * S5 - D4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{44} = & M6*(A5 * S23^2 * S5 * S4 - A5 * S23^2 * S4^2 - A5 * S5^2 + A5^2 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * S5^2 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * S4^2 * A6 + 2 * A5 * \\
 & S23^2 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * C5 * S5 * S4 * D6 - 2 * A5 * C6 * S5^2 * A6 + 2 * A5 * C6 * A6 - 2 * A5 * C5 * S5 * D6 - 2 * C6 * C5 * S5 * D6 \\
 & * A6 + S6^2 * S5 * A6 + S5 * D6 - S5 * A6 + A6) + M5 * A5 * (- S5 + 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{45} = & M6*(- A5^2 * C23 * S23 * S5^2 * S4 + A5^2 * C23 * S23 * S4 - A5^2 * S23^2 * C5 * S5 * C4 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5^2 * S4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * \\
 & C6 * S4 * A6 - A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * C4 * A6 - 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * A6 - A5 * S23^2 * S6 * S5 \\
 & * S4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * S5 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * S5^2 * C4 * S4 * D6 - A5 * S23^2 * C4 * S4 * D6 - A5 * S6 * S5 * A6 - C6 * S6 * S5 * A6 - S6 * \\
 & C5 * D6 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{46} = & M6 * A6 * (- A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * S4 + A5 * S23^2 * C6 * C5 * S4^2 + A5 * S23^2 * S6 * S5 * C4 * S4 - A5 * S23^2 * S6 * C4 * S4 - A5 * C6 * C5 + C6 \\
 & * S5 * D6 - C5 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{41} = & M5*A5*S4*(- A5*C23*S23*C5*S5 + A5*S23*S5*C4 - A5*S23^2*C4 + A2*C23*C5*C2 + D4*C23*S23*C5) + \\
 & M6*(- A5^2*C23*S23*C5*S5*S4 + A5^2*S23*S5*C4*S4 - A5^2*S23^2*C4*S4 + A5*A2*C23*C5*S4*C2 + A5*D4*C23*S23*C5*S4 \\
 & - 2*A5*C23*S23*C6*C5*S5*S4*A6 + A5*C23*S23*S6*S5*C4*A6 + 2*A5*C23*S23*S5*S4*D6 - A5*C23*S23*S4*D6 + 2*A5 \\
 & *S23^2*C6*S5^2*C4*S4*A6 - 2*A5*S23^2*C6*C4*S4*A6 - 2*A5*S23^2*S6*C5*S4*A6 + A5*S23^2*S6*C5*A6 + 2*A5*S23^2*C5* \\
 & S5*C4*S4*D6 + A2*C23*C6*C5*S4*C2*A6 - A2*C23*S6*C4*C2*A6 - A2*C23*S5*S4*C2*D6 + D4*C23*S23*C6*C5*S4*A6 - \\
 & D4*C23*S23*S6*C4*A6 - D4*C23*S23*S5*S4*D6 + C23*S23*C6*S6*S5*C4*A6 + 2*C23*S23*C6*S5*S4*D6*A6 - C23*S23* \\
 & C6*S4*D6*A6 + C23*S23*S6^2*C5*S5*S4*A6^2 + C23*S23*S6*C5*C4*D6*A6 + C23*S23*C5*S5*S4*D6^2 - C23*S23*C5*S5*S4* \\
 & A6^2 - 2*S23^2*C6*S6*C5*S4*A6^2 + S23^2*C6*S6*C5*A6^2 + 2*S23^2*C6*C5*S5*C4*S4*D6*A6 - S23^2*S6^2*S5^2*C4*S4*A6 \\
 & + 2*S23^2*S6^2*C4*S4*A6^2 + 2*S23^2*S6*S5*S4^2*D6*A6 - S23^2*S5^2*C4*S4*D6^2 + S23^2*S5^2*C4*S4* \\
 & A6^2 - S23^2*C4*S4*A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{42} = & M5*A5*S4*(- A5*S5^2*C4 + A5*C4 + A2*C23*C5*C2 + A2*S23*C5*S2) + \\
 & M6*(- A5^2*C23*S23*C5*S5*S4 + A5^2*S23^2*S5^2*C4*S4 - A5^2*S23^2*C4*S4 + A5^2*S5^2*C4*S4 + A5*A2*C23*C5* \\
 & S4*C2 + A5*D4*C23*S23*C5*S4 - 2*A5*C23*S23*C6*C5*S5*S4*A6 + A5*C23*S23*S6*S5*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*S5^2*S4* \\
 & D6 - A5*C23*S23*S4*D6 + 2*A5*S23^2*C6*S5^2*C4*S4*A6 - 2*A5*S23^2*C6*C4*S4*A6 - 2*A5*S23^2*S6*C5*S4*A6 + A5* \\
 & S23^2*S6*C5*A6 + 2*A5*S23^2*C5*S5*C4*S4*D6 - 2*A5*C6*S5^2*C4*S4*A6 + 2*A5*S6*C5*S4^2*A6 - \\
 & A5*S6*C5*A6 - 2*A5*C5*S5*C4*S4*D6 + A2*C23*C6*C5*S4*C2*A6 - A2*C23*S6*C4*C2*A6 - A2*C23*S5*S4*C2*D6 + A2* \\
 & S23^2*C6*C5*S4*S2*A6 - A2*S23^2*S6*C4*S2*A6 - A2*S23^2*S5*S4*S2*D6 + 2*C6*S6*C5*S4^2*A6 - C6*S6*C5*A6^2 - 2*C6*C5 \\
 & *S5*C4*S4*D6*A6 + S6^2*S5^2*C4*S4*A6^2 - 2*S6^2*C4*S4*A6^2 + S6*S5*S4^2*D6*A6 + S6*S5*D6*A6 + S5^2*C4*S4*D6^2 -
 \end{aligned}$$

$$S5^2 * C4 * S4 * A6^2 + C4 * S4 * A6^2$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{43} = & M5 * A5^2 * C4 * S4 * (- S5^2 + 1) + \\ & M6 * (- A5^2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 + A5^2 * S23^2 * S5^2 * C4 * S4 - A5^2 * S23^2 * C4 * S4 + A5^2 * C4 * S4 + A5^2 * C4 * S4 + A5 * D4 * C23 * S23 * \\ & C5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5^2 * S4 * D6 - A5 * C23 * S23 * S4 * D6 \\ & + 2 * A5 * S23^2 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * S6 * C5 * S4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * A6 + 2 * A5 * \\ & S23^2 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * A5 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C6 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S6 * C5 * S4 * A6 - A5 * S6 * C5 * A6 - 2 * A5 * C5 * \\ & S5 * C4 * S4 * D6 + 2 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6 - C6 * S6 * C5 * A6 - 2 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 + S6^2 * S5^2 * C4 * S4 * A6^2 - 2 * S6^2 * C4 * S4 * \\ & * A6^2 - 2 * S6 * S5 * S4^2 * D6 * A6 + S6 * S5 * D6 * A6 + S5^2 * C4 * S4 * D6^2 - S5^2 * C4 * S4 * A6^2 + C4 * S4 * A6) \end{aligned}$$

$$\Lambda_{44} = A5 * S23^2 * M6 * (A5 * S5^2 * C4 * S4 - A5 * C4 * S4 + 2 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * A6 - 2 * C6 * C4 * S4 * A6 - 2 * S6 * C5 * S4^2 * A6 + S6 * C5 * A6 + 2 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6)$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{45} = & M6 * (- A5^2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 + A5^2 * S23^2 * S5^2 * C4 * S4 - A5^2 * S23^2 * C4 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 + A5 * C23 * S23 * \\ & S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5^2 * S4 * D6 - A5 * C23 * S23 * S4 * D6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * C4 * S4 * \\ & A6 - A5 * S23^2 * S6 * C5 * S4^2 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - A5 * S6 * C5 * A6 - C6 * S6 * C5 * A6^2 + S6 * \\ & S5 * D6 * A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{46} = & M6 * A6 * (- A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 + A5 * S23^2 * C6 * S5^2 * C4 * S4 - A5 * S23^2 * C6 * C4 * S4 - A5 * S23^2 * S6 * C5 * S4^2 + A5 * S6 * C5 - S6 \\ & * S5 * D6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & C23 * C5 * S5 * C4 * A6^2 - 2 * S23 * C6 * S6 * C5 * C4 * S4 * A6^2 - 2 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4^2 * D6 * A6 + 2 * S23 * C6 * C5 * S5 * D6 * A6 + S23 * S6^2 * \\
 & S5^2 * S4^2 * A6^2 - S23 * S6^2 * S5^2 * A6^2 - 2 * S23 * S6^2 * S4^2 * A6^2 + S23 * S6^2 * A6^2 + S23 * S6 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 + S23 * S5^2 * S4^2 * \\
 & D6^2 - S23 * S5^2 * S4^2 * A6^2 - S23 * S5^2 * D6^2 + S23 * S5^2 * A6^2 + S23 * S4^2 * A6^2 - S23 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{43} = 0$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{44} = & 2 * M6 * (- A5^2 * C23 * C5 * S5 + A5^2 * S23 * S5 * C4 - A5^2 * S23 * C4 - 2 * A5 * C23 * C6 * C5 * S5 * A6 + 2 * A5 * C23 * S5^2 * D6 - A5 * C23 * D6 + 2 * \\
 & A5 * S23 * C6 * S5^2 * C4 * A6 - 2 * A5 * S23 * C6 * C4 * A6 - A5 * S23 * S6 * C5 * S4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6 + 2 * C23 * C6 * S5^2 * D6 * A6 \\
 & - C23 * C6 * D6 * A6 + C23 * S6^2 * C5 * S5 * A6^2 + C23 * C5 * S5 * D6^2 - C23 * C6 * S6 * C5 * S4 * A6^2 + 2 * S23 * C6 * C5 * \\
 & S5 * C4 * D6 * A6 - S23 * S6^2 * S5^2 * C4 * A6^2 + S23 * S6^2 * C4 * A6^2 + S23 * S6 * S5 * S4 * D6 * A6 - S23 * S5^2 * C4 * D6^2 + S23 * S5^2 * C4 * A6^2 \\
 & - S23 * C4 * A6^2) + M5 * A5^2 * (- 2 * C23 * C5 * S5 - S23 * C5 * C4 + S23 * S5 * C4 - S23 * C4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{45} = & 2 * S6 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S5^2 - A5 * C23 + A5 * S23 * C5 * S5 * C4 + C23 * C6 * S5^2 * A6 + C23 * C5 * S5 * D6 + S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + S23 * S6^2 * \\
 & * S5 * S4 * A6 - S23 * S5^2 * C4 * D6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{46} = & 2 * M5 * A5^2 * C4 * S4 * (- S5^2 + 1) + \\
 & 2 * M6 * (- A5^2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 + A5^2 * S23^2 * S5^2 * C4 * S4 - A5^2 * S23^2 * C4 * S4 - A5 * S5^2 * C4 * S4 + A5 * C4 * S4 + A5 * D4 * C23 * \\
 & S23 * C5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5^2 * S4 * D6 - A5 * C23 * S23 * \\
 & S4 * D6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * S6 * C5 * S4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * A6 +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 2 * A5 * S23^2 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 - 2 * A5 * C6 * S5^2 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * C6 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S6 * C5 * S4^2 * A6 - A5 * S6 * C5 * A6 - 2 * \\
 & A5 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 + 2 * C6 * S6 * C5 * S4^2 * A6 - C6 * S6 * C5 * A6^2 - 2 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * D6 * A6 + S6^2 * S5^2 * C4 * S4 * A6 - 2 * \\
 & S6^2 * C4 * S4 * A6 - 2 * S6 * S5 * S4^2 * D6 * A6 + S6 * S5 * D6 * A6 + S5^2 * C4 * S4 * D6^2 - S5^2 * C4 * S4 * A6 + C4 * S4 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{47} = 2 * A5 * C23 * S23 * S4 * M6 * (A5 * S5^2 * S4 - A5 * S4 + 2 * C6 * S5^2 * S4 * A6 - 2 * C6 * S4 * A6 + 2 * S6 * C5 * C4 * A6 + 2 * C5 * S5 * S4 * D6)$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{48} = & M5 * A5^2 * S4 * (C5 - S5 + 1) + \\
 & 2 * M6 * (- A5^2 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 + A5^2 * S23^2 * S5 * S4 - A5^2 * S23^2 * S4 - A5^2 * S5^2 * S4 + A5^2 * S4^2 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 \\
 & * C4 * S4 * A6 - A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4^2 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5^2 * C4 * S4 * D6 - A5 * C23 * S23 * C4 * S4 \\
 & * D6 + 2 * A5 * S23^2 * C6 * S5^2 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23^2 * C6 * S4 * A6 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * C4 * A6 + 2 * A5 * S23^2 * C5 * S5 * S4 * D6 - 2 * A5 * \\
 & C6 * S5^2 * S4 * A6 + 2 * A5 * C6 * S4 * A6 - A5 * S6 * C5 * C4 * A6 - 2 * A5 * C5 * S5 * S4 * D6 - C6 * S6 * C5 * C4 * A6^2 - 2 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 \\
 & + S6^2 * S5^2 * S4 * A6 - S6^2 * S4 * A6 + S6 * S5 * C4 * D6 * A6 + S5^2 * S4 * D6^2 - S5^2 * S4 * A6^2 + S4 * A6^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{49} = & 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S4^2 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5^2 * C4 * S4 - A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * C4 * S4 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * S5 * S4 - A5 * S6 * C5 \\
 & * S5 * S4 - C6 * S6 * C5 * S5 * S4 * A6 + S6^2 * S5 * C4 * A6 + S6 * S5^2 * S4 * D6)
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{4.10} = 2 * A5 * C23 * S23 * S4 * M6 * (A5 * S5^2 * S4 - A5 * S4 + 2 * C6 * S5^2 * S4 * A6 - 2 * C6 * S4 * A6 + 2 * S6 * C5 * C4 * A6 + 2 * C5 * S5 * S4 * D6)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{4.11} = & M5*A5^2 *S4*(C5^2 - S5^2 + 1) + \\ & 2*M6*(- A5^2 *C23*S23*C5*S5*C4*S4 + A5^2 *S23^2 *S5^2 *S4 - A5^2 *S23^2 *S4 - A5^2 *S5^2 *S4 + A5^2 *S4 - 2*A5^2 *C23^2 *S23^2 *C6^2 *C5^2 *S5^2 \\ & *C4*S4*A6 - A5^2 *C23^2 *S23^2 *S6^2 *S5^2 *S4 *A6 + A5^2 *C23^2 *S23^2 *S6^2 *S5^2 *A6 + 2*A5^2 *C23^2 *S23^2 *S5^2 *C4*S4*D6 - A5^2 *C23^2 *S23^2 *C4*S4 \\ & *D6 + 2*A5^2 *S23^2 *C6^2 *S5^2 *S4*A6 - 2*A5^2 *S23^2 *C6^2 *S4*A6 + A5^2 *S23^2 *S6^2 *C5^2 *C4*A6 + 2*A5^2 *S23^2 *C5^2 *S5^2 *S4*D6 - 2*A5^2 * \\ & C6^2 *S5^2 *S4*A6 + 2*A5^2 *C6^2 *S4*A6 - A5^2 *S6^2 *C5^2 *C4*A6 - 2*A5^2 *C5^2 *S5^2 *S4*D6 - C6^2 *S6^2 *C5^2 *C4*A6^2 - 2*C6^2 *C5^2 *S5^2 *S4*D6*A6 \\ & + S6^2 *S5^2 *S4*A6 - S6^2 *S4*A6 + S6^2 *S5^2 *C4*D6*A6 + S5^2 *S4*D6^2 - S5^2 *S4*A6 + S4*A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{4.12} = & 2*M6*A6*(A5^2 *C23^2 *S23^2 *C6^2 *C5^2 *S4^2 + A5^2 *C23^2 *S23^2 *S6^2 *S5^2 *C4*S4 - A5^2 *C23^2 *S23^2 *S6^2 *C4*S4 + A5^2 *S23^2 *S6^2 *C5^2 *S5^2 *S4 - A5^2 *S6^2 *C5^2 \\ & *S5^2 *S4 - C6^2 *S6^2 *C5^2 *S5^2 *S4*A6 + S6^2 *S5^2 *C4*A6 + S6^2 *S5^2 *S4*D6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{4.13} = & 2*M6*(A5^2 *S23^2 *C5^2 *S5^2 *S4 - A5^2 *C5^2 *S5^2 + 2*A5^2 *S23^2 *C6^2 *C5^2 *S5^2 *S4 *A6 - A5^2 *S23^2 *S6^2 *S5^2 *C4*S4*A6 - 2*A5^2 *S23^2 *S5^2 *S4 * \\ & D6 + A5^2 *S23^2 *S4 *D6 - 2*A5^2 *C6^2 *C5^2 *S5^2 *A6 + 2*A5^2 *S5^2 *D6 - A5^2 *D6 + 2*C6^2 *S5^2 *D6*A6 - C6^2 *D6*A6 + S6^2 *C5^2 *S5^2 *A6 \\ & + C5^2 *S5^2 *D6 - C5^2 *S5^2 *A6) - 2*M5*A5^2 *C5^2 *S5^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{4.14} = & 2*M6*A6*(A5^2 *S23^2 *C6^2 *C5^2 *C4*S4 - A5^2 *S23^2 *S6^2 *S5^2 *S4 + A5^2 *S23^2 *S6^2 *S4^2 + A5^2 *S23^2 *S6^2 *S5^2 - A5^2 *S6^2 + C6^2 *S6^2 *S5^2 *A6 + S6^2 *C5^2 * \\ & S5^2 *D6) \end{aligned}$$

$$\sigma_{4.15} = 2*S6^2 *M6*A6*(A5^2 *C23^2 *S23^2 *S5^2 *S4 - A5^2 *C23^2 *S23^2 *S4 + A5^2 *S23^2 *C5^2 *S5^2 *C4*S4 + S6^2 *S5^2 *A6) +$$

$$X_4 = S23^2 *M6*(C6^2 *C5^2 *S4*A6 - S6^2 *C4*A6 - S5^2 *S4*D6) + M5*A5^2 *S23^2 *C5^2 *S4$$

(5) τ_5 に関する内容

$$\begin{aligned}
 J_{51} = & M5*A5*S4*(A5*S23 - A2*S5*C2 - D4*S23*S5) + \\
 & M6*(A5^2*S23*S4 - A5*A2*S5*S4*C2 - A5*D4*S23*S5*S4 - A5*C23*S6*S5*A6 + 2*A5*S23*C6*S4*A6 - A5*S23*S6*C5*C4*A6 \\
 & - A2*C6*S5*S4*C2*A6 - A2*C5*S4*C2*D6 - D4*S23*C6*S5*S4*A6 - D4*S23*C5*S4*D6 - C23*C6*S6*S5*A6^2 - C23*S6* \\
 & C5*D6*A6 - S23*C6*S6*C5*C4*A6^2 - S23*S6^2*S4*A6 + S23*S6*S5*C4*D6*A6 + S23*S4*D6^2 + S23*S4*A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{52} = & M5*A5*(A5*C4 + A2*C23*C5*C2 + A2*C23*S5*C4*S2 + A2*S23*C5*S2 - A2*S23*S5*C4*C2 - D4*S5*C4) + \\
 & M6*(- A5^2*C23*S23*C5*S5*S4 + 2*A5^2*C23*S23*C5*S5 - 2*A5^2*S23*S5*C4 + A5^2*S23*C4 + A5^2*S5*C4 + A5*A2*C23* \\
 & S5*C4*S2 + A5*A2*S23*C5*S2 - A5*D4*C23*S23*C5 + A5*D4*S23*S5*C4 - A5*D4*S5*C4 - 2*A5*C23*S23*C6*C5*S5*S4 \\
 & *A6 + 4*A5*C23*S23*C6*C5*S5*A6 + A5*C23*S23*S6*S5*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*S5^2*S4*D6 - 4*A5*C23*S23*S5^2*A6 \\
 & - A5*C23*S23*S4^2*D6 + 2*A5*C23*S23*D6 - 4*A5*S23^2*C6*S5^2*C4*A6 + 2*A5*S23^2*C6*C4*A6 + A5*S23^2*S6*C5*S4*A6 \\
 & - 4*A5*S23^2*C5*S5*C4*D6 + 2*A5*C6*S5^2*C4*A6 + 2*A5*C5*S5*C4*D6 + A2*C23*C6*C5*C2*A6 + A2*C23*C6*S5*C4*S2* \\
 & A6 + A2*C23*C5*C4*S2*D6 - A2*C23*S5*C2*D6 + A2*S23*C6*C5*S2*A6 - A2*S23*C6*S5*C4*C2*A6 - A2*S23*C5*C4*C2* \\
 & D6 - A2*S23*S5*S2*D6 - D4*C6*S5*C4*A6 - D4*C5*C4*D6 + C6*S6*C5*S4*A6^2 - S6^2*C4*A6 - S6*S5*S4*D6*A6 + C4* \\
 & D6^2 + C4*A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{53} = & M6*(- A5^2*C23*S23*C5*S5*S4 + 2*A5^2*C23*S23*C5*S5 - 2*A5^2*S23*S5*C4 + A5^2*S23*C4 + A5^2*S5^2*C4 - A5*D4*C23* \\
 & S23*C5 + A5*D4*S23^2*S5*C4 - A5*D4*S5*C4 - 2*A5*C23*S23*C6*C5*S5*S4^2*A6 + 4*A5*C23*S23*C6*C5*S5*A6 + A5*C23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & *S23*S6*S5*C4*S4*A6 + 2*A5*C23*S23*S5*S4*D6 - 4*A5*C23*S23*S5*D6 - A5*C23*S23*S4*D6 + 2*A5*C23*S23*S23*D6 \\
 & - 4*A5*S23*C6*S5*C4*A6 + 2*A5*S23*C6*S4*A6 + A5*S23*S6*C4*A6 + A5*S23*S6*C5*S4*A6 - 4*A5*S23*C5*S5*C4*D6 + 2*A5*C6*S5 \\
 & *C4*A6 + 2*A5*C5*S5*C4*D6 - D4*C6*S5*C4*A6 - D4*C5*C4*D6 + C6*S6*C5*S4*A6 - S6*C4*A6 - S6*S5*S4*D6*A6 \\
 & + C4*D6 + C4*A6) + M5*A5*C4*(A5 - D4*S5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J54 = & M6*(- A5^2 *C23*S23*S5*S4 + A5^2 *C23*S23*S4 - A5^2 *S23 *C5*S5*C4*S4 - 2*A5*C23*S23*C6*S5 *S4*A6 + 2*A5*C23*S23* \\
 & C6*S4*A6 - A5*C23*S23*S6*C5*C4*A6 - 2*A5*C23*S23*C5*S5*S4*D6 - 2*A5*S23 *C6*C5*S5*C4*S4*A6 - A5*S23 *S6*S5 \\
 & *S4 *A6 + A5*S23 *S6*S5*A6 + 2*A5*S23 *S5 *C4*S4*D6 - A5*S23 *C4*S4*D6 - A5*S6*S5*A6 - C6*S6*S5*A6^2 - S6* \\
 & C5*D6*A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J55 = & M6*(2*A5^2 *C23*S23*C5*S5*C4 + A5^2 *S23 *S5*S4 - 2*A5^2 *S23 *S5 + A5^2 *S23^2 + A5^2 *S5 + 4*A5*C23*S23*C6*C5*S5*C4 \\
 & *A6 - 4*A5*C23*S23*S5 *C4*D6 + 2*A5*C23*S23*C4*D6 + 2*A5*S23 *C6*S5 *S4 *A6 - 4*A5*S23 *C6*S5 *A6 + 2*A5* \\
 & S23 *C6*A6 + 2*A5*S23 *C5*S5*S4 *D6 - 4*A5*S23 *C5*S5*D6 + 2*A5*C6*S5 *A6 + 2*A5*C5*S5*D6 - S6 *A6 + D6 \\
 & + A6) + M5*A5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J56 = & M6*A6*(- A5^2 *C23*S23*C6*C5*S4 - 2*A5*C23*S23*S6*S5 *C4 + A5^2 *C23*S23*S6*C4 + A5*S23 *C6*S5*C4*S4 + A5*S23 *S6* \\
 & C5*S5*S4 - 2*A5*S23 *S6*C5*S5 + A5*S6*C5*S5 + S6*D6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{51} = & M5*A5*(A5*C23*S23*C5*C4 - A5*C23*S23*S5*C4 + A5*S23*C5*S5*S4 - 2*A5*S23*C5*S5 + A5*C5*S5 + A2*C23*S5*C4* \\
 & C2 + A2*S23*C5*C2 + D4*C23*S23*S5*C4 + D4*S23*C5) + \\
 M6*(& - 2*A5*C23*S23*S5*C4 + A5*C23*S23*C4 + A5*S23*C5*S5*S4 - 2*A5*S23*C5*S5 + A5*C5*S5 + A5*A2*C23* \\
 S5*C4*C2 + A5*A2*S23*C5*C2 + A5*D4*C23*S23*S5*C4 + A5*D4*S23*C5 - 4*A5*C23*S23*C6*S5*C4*A6 + 2*A5*C23* \\
 S23*C6*C4*A6 + A5*C23*S23*S6*C5*S4*A6 - 4*A5*C23*S23*C5*S5*C4*D6 + 2*A5*S23*C6*C5*S5*S4*A6 - 4*A5*S23* \\
 C6*C5*S5*A6 - A5*S23*S6*S5*C4*S4*A6 - 2*A5*S23*S5*S4*D6 + 4*A5*S23*S5*D6 + A5*S23*S4*D6 - 2*A5* \\
 S23*D6 + 2*A5*C6*C5*S5*A6 - 2*A5*S5*D6 + A5*D6 + A2*C23*C6*S5*C4*C2*A6 + A2*C23*C5*C4*C2*D6 + A2*S23*C6* \\
 C5*C2*A6 - A2*S23*S5*C2*D6 + D4*C23*S23*C6*S5*C4*A6 + D4*C23*S23*C5*C4*D6 + D4*S23*C6*C5*A6 - D4*S23*S5* \\
 D6 + C23*S23*C6*S6*C5*S4*A6 - 4*C23*S23*S6*C5*S5*C4*D6*A6 + 2*C23*S23*S6*S5*C4*A6 - C23*S23*S6*C4*A6 \\
 - C23*S23*S6*S5*S4*D6*A6 + 2*C23*S23*S5*C4*D6 - 2*C23*S23*S5*C4*A6 - C23*S23*C4*D6 + C23*S23*C4*A6 \\
 - S23*C6*S6*S5*C4*S4*A6 - 2*S23*C6*S5*S4*D6*A6 + 4*S23*C6*S5*D6*A6 + S23*C6*S4*D6*A6 - 2*S23*C6* \\
 *D6*A6 - S23*S6*C5*S5*S4*A6 + 2*S23*S6*C5*S5*A6 - S23*S6*C5*C4*S4*D6*A6 - S23*C5*S5*S4*D6 + \\
 S23*C5*S5*S4*A6 + 2*S23*C5*S5*D6 - 2*S23*C5*S5*A6 - 2*C6*S5*D6*A6 + C6*D6*A6 - S6*C5*S5*A6 - C5* \\
 S5*D6 + C5*S5*A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{52} = & M5*A5*(- A5*C5*S5*S4 - A2*C23*C5*S2 + A2*C23*S5*C4*C2 + A2*S23*C5*C2 + A2*S23*S5*C4*S2 + D4*C5) + \\
 M6*(& - 2*A5*C23*S23*S5*C4 + A5*C23*S23*C4 + A5*S23*C5*S5*S4 - 2*A5*S23*C5*S5 - A5*C5*S5*S4 + A5*C5*
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & S5 + A5 * A2 * C23 * S5 * C4 * C2 + A5 * A2 * S23 * C5 * C2 + A5 * D4 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5 * D4 * S23 * C5 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * A6 \\
 & + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C4 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 \\
 & - 4 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * A6 - A5 * S23 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23 * S5 * S4 * D6 + 4 * A5 * S23 * S5 * D6 + A5 * S23 * S4 * A6 \\
 & D6 - 2 * A5 * S23 * D6 - 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * A6 + A5 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S5 * S4 * D6 - 2 * A5 * A6 \\
 & S5 * D6 - A5 * S4 * D6 + A5 * D6 - A2 * C23 * C6 * C5 * S2 * A6 + A2 * C23 * C6 * S5 * C4 * C2 * A6 + A2 * C23 * C5 * C4 * C2 * D6 + A2 * C23 * S5 * S4 * A6 \\
 & S2 * D6 + A2 * S23 * C6 * C5 * C2 * A6 + A2 * S23 * C6 * S5 * C4 * S2 * A6 + A2 * S23 * C5 * C4 * S2 * D6 - A2 * S23 * S5 * C2 * D6 + D4 * C6 * C5 * A6 - \\
 & D4 * S5 * D6 + C6 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 - C6 * S4 * D6 * A6 + S6 * C5 * S5 * S4 * A6 + S6 * C5 * C4 * S4 * D6 * A6 \\
 & + C5 * S5 * S4 * D6 - C5 * S5 * S4 * A6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{53} = & M6 * (- 2 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5 * C23 * S23 * C4 + A5 * S23 * C5 * S5 * S4 - 2 * A5 * S23 * C5 * S5 - A5 * C5 * S5 * S4 + A5 * C5 * \\
 & S5 + A5 * D4 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5 * D4 * S23 * C5 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C4 * A6 + A5 * C23 * S23 * \\
 & S6 * C5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * A6 - A5 * S23 * S6 * S5 \\
 & * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23 * S5 * S4 * D6 + 4 * A5 * S23 * S5 * D6 + A5 * S23 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * D6 - 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 \\
 & + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * A6 + A5 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S5 * S4 * D6 - 2 * A5 * S5 * D6 - A5 * S4 * D6 + A5 * D6 + D4 * C6 * C5 * A6 \\
 & - D4 * S5 * D6 + C6 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 - C6 * S4 * D6 * A6 + S6 * C5 * S5 * S4 * A6 + S6 * C5 * C4 * S4 * D6 * \\
 & A6 + C5 * S5 * S4 * D6 - C5 * S5 * S4 * A6) + M5 * A5 * C5 * (- A5 * S5 * S4 + D4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{54} = & M6*(- A5 *C23*S23*S5^2 *C4 + A5 *C23*S23*C4 + A5^2 *S23^2 *C5*S5*S4^2 - A5^2 *S23^2 *C5*S5 + A5^2 *C5*S5 - 2*A5*C23*S23*C6 \\ & *S5^2 *C4*A6 + 2*A5*C23*S23*C6*C4*A6 + A5*C23*S23*S6*C5*S4*A6 - 2*A5*C23*S23*C5*S5*C4*D6 + 2*A5*S23^2 *C6*C5* \\ & S5*S4 *A6 - 2*A5*S23^2 *C6*C5*S5*A6 - A5*S23^2 *S6*S5*C4*S4*A6 - 2*A5*S23^2 *S5^2 *S4 *D6 + 2*A5*S23^2 *S5^2 *D6 + A5* \\ & S23^2 *S4^2 *D6 - A5*S23^2 *D6 + 2*A5*C6*C5*S5*A6 - 2*A5*S5^2 *D6 + A5*D6 - 2*C6*S5^2 *D6*A6 + C6*D6*A6 - S6^2 *C5*S5* \\ & A6^2 - C5*S5*D6^2 + C5*S5*A6^2) + M5*A5^2 *C5*S5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{55} = & A5*M6*(- 2*A5*C23*S23*S5^2 *C4 + A5*C23*S23*C4 + A5*S23^2 *C5*S5*S4^2 - 2*A5*S23^2 *C5*S5 + A5*C5*S5 - 4*C23*S23*C6* \\ & S5^2 *C4*A6 + 2*C23*S23*C6*C4*A6 - 4*C23*S23*C5*S5*C4*D6 + 2*S23^2 *C6*C5*S5*S4^2 *A6 - 4*S23^2 *C6*C5*S5*A6 - \\ & 2*S23^2 *S5^2 *S4^2 *D6 + 4*S23^2 *S5^2 *D6 + S23^2 *S4^2 *D6 - 2*S23^2 *D6 + 2*C6*C5*S5*A6 - 2*S5^2 *D6 + D6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{56} = & M6*A6*(- 2*A5*C23*S23*C6*S5^2 *C4 + A5*C23*S23*C6*C4 + A5*C23*S23*S6*C5*S4^2 *A6 + A5*S23^2 *C6*C5*S5*S4^2 - 2*A5*S23^2 * \\ & C6*C5*S5 - A5*S23^2 *S6*S5*C4*S4 + A5*C6*C5*S5 + C6*D6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O_{51} = & M5*A5*S4*(- A5*C23*C5^2 + A5*C23*S5^2 + A5*C23 + 2*A5*S23*C5*S5*C4 + 2*A2*S5*S2 - 2*D4*(C23*S5) + \\ & 2*S4*M6*(A5^2 *C23*S5^2 + A5^2 *S23*C5*S5*C4 + A5*A2*S5*S2 - A5*D4*(C23*S5 + 2*A5*C23*C6*S5^2 *A6 + 2*A5*C23*C5*S5*D6 \\ & + 2*A5*S23*C6*C5*S5*C4*A6 + A5*S23*S6*S5*S4*A6 - 2*A5*S23*S5^2 *C4*D6 + A5*S23*C4*D6 + A2*C6*S5*S2*A6 \\ & + A2*C5*S2*D6 - D4*C23*C6*S5*A6 - D4*C23*C5*D6 + 2*C23*C6*C5*S5*D6*A6 - C23*S6^2 *S5^2 *A6^2 - C23*S5^2 * \\ & D6^2 + C23*S5^2 *A6^2 + C23*D6^2 + S23*C6*S6*S5*S4*A6^2 - 2*S23*C6*S5^2 *C4*D6*A6 + S23*C6*C4*D6*A6 - S23*S6^2 * \\ & C5*S5*C4*A6^2 + S23*S6*C5*S4*D6*A6 - S23*C5*S5*C4*D6^2 + S23*C5*S5*C4*A6^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{52} = & M5*A5*S4*(- A5*C23*C5^2 + A5*C23*S5^2 + 2*A5*S23*C5*S5*C4 - 2*D4*C23*S5) + \\ & 2*S4*M6*(A5*C23*S5^2 + A5*S23*C5*S5*C4 - A5*D4*C23*C6*S5*A6 + 2*A5*C23*C5*S5*D6 + 2*A5*S23*C6* \\ & C5*S5*C4*A6 + A5*S23*S6*S5*S4*A6 - 2*A5*S23*S5*C4*D6 + A5*S23*C4*D6 - D4*C23*C6*S5*A6 - D4*C23*C5*D6 \\ & + 2*C23*C6*C5*S5*D6*A6 - C23*S6*S5*A6^2 - C23*S5*D6^2 + C23*D6^2 + S23*C6*S6*S5*S4*A6^2 \\ & - 2*S23*C6*S5*C4*D6*A6 + S23*C6*C4*D6*A6 - S23*S6*C5*S5*C4*A6^2 + S23*S6*C5*S4*D6*A6 - S23*C5*S5*C4 \\ & *D6^2 + S23*C5*S5*C4*A6^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{53} = & 2*M6*(A5*C23*C5*S5^2 - A5*S23*S5*C4 + A5*S23*C4 + 2*A5*C23*C6*C5*S5*A6 - 2*A5*C23*S5*D6 + A5*C23*D6 - 2*A5* \\ & S23*C6*S5*C4*A6 + 2*A5*S23*C6*C4*A6 + A5*S23*S6*C5*S4*A6 - 2*A5*S23*C5*S5*C4*D6 - 2*C23*C6*S5*D6*A6 + \\ & C23*C6*D6*A6 - C23*S6*C5*S5*A6^2 - C23*C5*S5*D6^2 + C23*C5*S5*A6^2 + S23*C6*S6*C5*S4*A6 - 2*S23*C6*C5*S5* \\ & C4*D6*A6 + S23*S6*S5*C4*A6^2 - S23*S6*C4*A6^2 - S23*S6*S5*S4*D6*A6 + S23*S5*C4*D6^2 - S23*S5*C4*A6^2 + \\ & S23*C4*A6^2) + M5*A5*(2*C23*C5*S5^2 + S23*C5*C4 - S23*S5*C4 + S23*C4) \end{aligned}$$

$$\sigma_{54} = 0$$

$$\begin{aligned} \sigma_{55} = & 2*M6*A6*(- A5*C23*C6*S5^2 - A5*S23*C6*C5*C4 - A5*S23*S6*S4 - C23*C6*C5*D6 + C23*S6*S5*A6 - C23*S5*A6 - S23*C6* \\ & S6*S4*A6 + S23*C6*S5*C4*D6 + S23*S6*C5*C4*A6^2 - S23*C5*C4*A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{56} = & 2 * M6 * (- 2 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5 * C23 * S23 * C4 + A5 * S23 * C5 * S5 * S4 - 2 * A5 * S23 * C5 * S5 - A5 * C5 * S5 * S4 + A5 * \\ & C5 * S5 + A5 * D4 * C23 * S23 * S5 * C4 + A5 * D4 * S23 * C5 - 4 * A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C4 * A6 + A5 * C23 \\ & * S23 * S6 * C5 * S4 * A6 - 4 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * S4 * A6 - 4 * A5 * S23 * C6 * C5 * S5 * A6 - A5 * \\ & S23 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23 * S5 * S4 * D6 + 4 * A5 * S23 * S5 * D6 + A5 * S23 * S4 * D6 - 2 * A5 * S23 * D6 - 2 * A5 * C6 * \\ & C5 * S5 * S4 * A6 + 2 * A5 * C6 * C5 * S5 * A6 + A5 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * A5 * S5 * S4 * D6 - 2 * A5 * S5 * D6 - A5 * S4 * D6 + A5 * D6 \\ & + D4 * C6 * C5 * A6 - D4 * S5 * D6 + C6 * S6 * S5 * C4 * S4 * A6 + 2 * C6 * S5 * S4 * D6 * A6 - C6 * S4 * D6 * A6 + S6 * C5 * S5 * S4 * A6 \\ & + S6 * C5 * C4 * S4 * D6 * A6 + C5 * S5 * S4 * D6 - C5 * S5 * S4 * A6) + 2 * M5 * A5 * C5 * (- A5 * S5 * S4 + D4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{57} = & M5 * A5 * S4 * (- C5 + S5 - 1) + \\ & 2 * M6 * (- A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 + A5 * S23 * S5 * S4 - A5 * S23 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * A6 - A5 * C23 * S23 \\ & * S6 * S5 * S4 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 * S4 * D6 - A5 * C23 * S23 * C4 * S4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * S5 \\ & * S4 * A6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S4 * A6 + A5 * S23 * S6 * C5 * C4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 + C6 * S6 * C5 * C4 * A6 + 2 * C6 * C5 * S5 \\ & * S4 * D6 * A6 - S6 * S5 * S4 * A6 + S6 * S4 * A6 - S6 * S5 * C4 * D6 * A6 - S5 * S4 * D6 + S5 * S4 * A6 - S4 * A6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{58} = & 2 * A5 * M6 * (A5 * C23 * S23 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S5 + A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * C5 * S5 * C4 + 2 * C23 * S23 * C6 * \\ & S5 * S4 * A6 - 4 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 + 2 * C23 * S23 * C6 * A6 + 2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 4 * C23 * S23 * C5 * S5 * D6 - 4 * \\ & S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + 4 * S23 * S5 * C4 * D6 - 2 * S23 * C4 * D6 + 2 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - 2 * S5 * C4 * D6 + C4 * D6) \end{aligned}$$

$$\sigma_{58} = 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 + A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 + A5 * S23 * C6 * C5 * S4 + 2 * A5 * S23 * S6 * S5 * C4 - A5 * S23 * S6 * C4 - A5 * S6 * S5 * C4 - C6 * S6 * C4 * A6 - C6 * S5 * S4 * D6 - S6 * C5 * S4 * A6 + C5 * S4 * A6)$$

$$\sigma_{5.10} = M5 * A5 * S4 * (- C5 + S5 - 1) + 2 * M6 * (- A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 * S4 + A5 * S23 * S5 * S4 - A5 * S23 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * S4 * A6 - A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4 * A6 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * A6 + 2 * A5 * C23 * S23 * S5 * C4 * S4 * D6 - A5 * C23 * S23 * C4 * S4 * D6 + 2 * A5 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 - 2 * A5 * S23 * C6 * S4 * A6 + A5 * S23 * S6 * C5 * C4 * A6 + 2 * A5 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 + C6 * S6 * C5 * C4 * A6 + 2 * C6 * C5 * S5 * S4 * D6 * A6 - S6 * S5 * S4 * A6 + S6 * S4 * A6 - S6 * S5 * C4 * D6 * A6 - S5 * S4 * D6 + S5 * S4 * A6 - S4 * A6)$$

$$\sigma_{5.11} = 2 * A5 * M6 * (A5 * C23 * S23 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S5 + A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 + A5 * C5 * S5 * C4 + 2 * C23 * S23 * C6 * S5 * S4 * A6 - 4 * C23 * S23 * C6 * S5 * A6 + 2 * C23 * S23 * C6 * A6 + 2 * C23 * S23 * C5 * S5 * S4 * D6 - 4 * C23 * S23 * C5 * S5 * D6 - 4 * S23 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 + 4 * S23 * S5 * C4 * D6 - 2 * S23 * C4 * D6 + 2 * C6 * C5 * S5 * C4 * A6 - 2 * S5 * C4 * D6 + C4 * D6)$$

$$\sigma_{5.12} = 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 + A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 + A5 * S23 * C6 * C5 * S4 + 2 * A5 * S23 * S6 * S5 * C4 - A5 * S23 * S6 * C4 - A5 * S6 * S5 * C4 - C6 * S6 * C4 * A6 - C6 * S5 * S4 * D6 - S6 * C5 * S4 * A6 + C5 * S4 * A6)$$

LCOF(T56, Y54);

$$\sigma_{5.13} = 2 * A5 * S23 * S4 * M6 * (- A5 * C23 * C5 * S5 + A5 * S23 * S5 * C4 - 2 * C23 * C6 * C5 * S5 * A6 + 2 * C23 * S5 * D6 - C23 * D6 + 2 * S23 * C6 * S5 * C4 * A6 + 2 * S23 * C5 * S5 * C4 * D6)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{5.14} = & 2 * M6 * A6 * (- A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * C4 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5)^2 * S4 - A5 * C23 * S23 * S6 * S4 - A5 * S23^2 * C6 * S5 * S4^2 + A5 * S23^2 * C6 * S5 \\ & + A5 * S23^2 * S6 * C5 * S5 * C4 * S4 - A5 * C6 * S5 - C6 * C5 * D6 + S6^2 * S5 * A6 - S5 * A6 \end{aligned}$$

$$\sigma_{5.15} = 2 * S6 * M6 * A6 * (- 2 * A5 * C23 * S23 * C5 * S5 * C4 - A5 * S23^2 * S5 * S4 + 2 * A5 * S23^2 * S5 - A5 * S23^2 - A5 * S5 - C6 * A6)$$

$$X_5 = M6 * (- C23 * C6 * C5 * A6 + C23 * S5 * D6 + S23 * C6 * S5 * C4 * A6 + S23 * C5 * C4 * D6) + M5 * A5 * (- C23 * C5 + S23 * S5 * C4)$$

(6) τ_6 に関する内容

$$J_{61} = M6 \cdot A6 \cdot (-C2 \cdot A2 \cdot C6 \cdot C4 - C2 \cdot A2 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S4 - A5 \cdot C23 \cdot C6 \cdot C5 + A5 \cdot S23 \cdot C6 \cdot S5 \cdot C4 - D4 \cdot S23 \cdot C6 \cdot C4 - D4 \cdot S23 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S4 + D6 \cdot C23 \cdot C6 \cdot S5 + D6 \cdot S23 \cdot C6 \cdot C5 \cdot C4 + D6 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S4 - A6 \cdot C23 \cdot C5 + A6 \cdot S23 \cdot S5 \cdot C4)$$

$$J_{62} = M6 \cdot A6 \cdot (-C2 \cdot A2 \cdot C23 \cdot S6 \cdot S5 + C2 \cdot A2 \cdot S23 \cdot C6 \cdot S4 - C2 \cdot A2 \cdot S23 \cdot S6 \cdot C5 \cdot C4 - S2 \cdot A2 \cdot C23 \cdot C6 \cdot S4 + S2 \cdot A2 \cdot C23 \cdot S6 \cdot C5 \cdot C4 - S2 \cdot A2 \cdot C23 \cdot S6 \cdot S5^2 - A5 \cdot C23 \cdot S6 \cdot S5 - A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot C6 \cdot C4 \cdot S4 + A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S5^2 \cdot S4 - 2 \cdot A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S5^2 - A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S4^2 + A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S5 \cdot S4 - 2 \cdot A5 \cdot S23 \cdot C6 \cdot S5 \cdot S4 - 2 \cdot A5 \cdot S23 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S5 \cdot C4 - A5 \cdot C6 \cdot S5 \cdot S4 + A5 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S5 \cdot C4 + D4 \cdot C6 \cdot S4 - D4 \cdot S6 \cdot C5 \cdot C4 - D6 \cdot C6 \cdot C5 \cdot S4 + D6 \cdot S6 \cdot C4 - A6 \cdot S5 \cdot S4)$$

$$J_{63} = M6 \cdot A6 \cdot (-A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot C6 \cdot C5 \cdot C4 \cdot S4 + A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S5^2 \cdot S4 - 2 \cdot A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S5^2 - A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S4^2 + A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S5 \cdot S4 - 2 \cdot A5 \cdot S23 \cdot C6 \cdot S5 \cdot S4 - 2 \cdot A5 \cdot S23 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S5 \cdot C4 - A5 \cdot C6 \cdot S5 \cdot S4 + A5 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S5 \cdot C4 + D4 \cdot C6 \cdot S4 - D4 \cdot S6 \cdot C5 \cdot C4 - D6 \cdot C6 \cdot C5 \cdot S4 + D6 \cdot S6 \cdot C4 - A6 \cdot S5 \cdot S4)$$

$$J_{64} = M6 \cdot A6 \cdot (-A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S5 \cdot S4 + A5 \cdot S23 \cdot C6 \cdot C5 \cdot S4^2 + A5 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S5^2 \cdot C4 \cdot S4 - A5 \cdot S23 \cdot S6 \cdot C4 \cdot S4 - A5 \cdot C6 \cdot C5 + D6 \cdot C6 \cdot S5 - A6 \cdot C5)$$

$$J_{65} = M6 \cdot A6 \cdot (-A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot C6 \cdot C5 \cdot S4 - 2 \cdot A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot S5^2 \cdot C4 + A5 \cdot C23 \cdot S23 \cdot S6 \cdot C4 + A5 \cdot S23 \cdot C6 \cdot S5 \cdot C4 \cdot S4 + A5 \cdot S23 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S5 \cdot S4 - 2 \cdot A5 \cdot S23 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S5 + A5 \cdot S6 \cdot C5 \cdot S5 + D6 \cdot S6)$$

$$J_{66} = M_6 \cdot A_6^2$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{61} = & M_6 \cdot A_6 \cdot (- C_2 \cdot A_2 \cdot C_{23} \cdot C_6 \cdot S_4 + C_2 \cdot A_2 \cdot C_{23} \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot C_4 - C_2 \cdot A_2 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5 + A_5 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_5 \cdot S_4 - 2 \cdot A_5 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot S_5 \\ & \cdot C_4 + A_5 \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot C_5 \cdot C_4 \cdot S_4 - A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5 \cdot S_4 + 2 \cdot A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5^2 + A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_4^2 - A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 - A_5 \cdot S_6 \\ & \cdot S_5 + A_5 \cdot S_6 - D_4 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_4 + D_4 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot C_4 - D_4 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5 + D_6 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot C_5 \cdot S_4 + 2 \cdot D_6 \cdot C_{23} \cdot \\ & S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5 \cdot C_4 - D_6 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot C_4 \cdot S_4 - D_6 \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_5 \cdot C_4 \cdot S_4 + 2 \cdot D_6 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot S_5 - D_6 \\ & \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot S_5 - 2 \cdot A_6 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot S_5 \cdot C_4 - 2 \cdot A_6 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5 \cdot S_4 + A_6 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot S_5 \cdot S_4 - A_6 \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_6 \cdot S_5 \\ & \cdot S_4 + 2 \cdot A_6 \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_6 \cdot S_5 + 2 \cdot A_6 \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_6 \cdot S_4 - A_6 \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_6 - 2 \cdot A_6 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot C_4 \cdot S_4 + A_6 \cdot S_{23} \cdot C_5 \cdot \\ & C_4 \cdot S_4 - A_6 \cdot C_6 \cdot S_6 \cdot S_5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{62} = & M_6 \cdot A_6 \cdot (- C_2 \cdot A_2 \cdot C_{23} \cdot C_6 \cdot S_4 + C_2 \cdot A_2 \cdot C_{23} \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot C_4 - C_2 \cdot A_2 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5 + S_2 \cdot A_2 \cdot C_{23} \cdot S_6 \cdot S_5 - S_2 \cdot A_2 \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_4 + S_2 \cdot A_2 \cdot \\ & S_{23} \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot C_4 + A_5 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_5 \cdot S_4 - 2 \cdot A_5 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot S_5 \cdot C_4 + A_5 \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot C_5 \cdot C_4 \cdot S_4 - A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5^2 \\ & \cdot S_4 + 2 \cdot A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5 + A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_4 - A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 - A_5 \cdot C_6 \cdot C_5 \cdot C_4 \cdot S_4 + A_5 \cdot S_6 \cdot S_5 \cdot S_4 - A_5 \cdot S_6 \cdot S_5^2 - A_5 \cdot \\ & S_6 \cdot S_4 + A_5 \cdot S_6 - D_4 \cdot S_6 \cdot S_5 + D_6 \cdot C_6 \cdot S_5 \cdot C_4 \cdot S_4 + D_6 \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot S_5 \cdot S_4 + A_6 \cdot C_6 \cdot S_6 \cdot S_5 \cdot S_4 - 2 \cdot A_6 \cdot C_6 \cdot S_6 \cdot S_4 + A_6 \cdot \\ & C_6 \cdot S_6 + 2 \cdot A_6 \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot C_4 \cdot S_4 - A_6 \cdot C_5 \cdot C_4 \cdot S_4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{63} = & M_6 \cdot A_6 \cdot (A_5 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot S_5 \cdot S_4 - 2 \cdot A_5 \cdot C_{23} \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot C_5 \cdot S_5 \cdot C_4 + A_5 \cdot S_{23} \cdot C_6 \cdot C_5 \cdot C_4 \cdot S_4 - A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_5 \cdot S_4 + 2 \cdot A_5 \cdot S_{23} \cdot \\ & \cdot S_6 \cdot S_5 + A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 \cdot S_4 - A_5 \cdot S_{23} \cdot S_6 - A_5 \cdot C_6 \cdot C_5 \cdot C_4 \cdot S_4 + A_5 \cdot S_6 \cdot S_5 \cdot S_4 - A_5 \cdot S_6 \cdot S_5^2 - A_5 \cdot S_6 \cdot S_4 + A_5 \cdot S_6 \\ & \cdot S_5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - D4*S6*S5 + D6*C6*S5*C4*S4 + D6*S6*C5*S5*S4^2 + A6*C6*S6*S4^2 - 2*A6*C6*S6*S4 + A6*C6*S6 + 2*A6* \\
 & S6^2 * C5 * C4 * S4 - A6 * C5 * C4 * S4^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{64} = & M6*A6*(- A5*C23*S23*S6*C5*S5*C4 + A5*S23^2 * C6*C5*C4*S4 - A5*S23^2 * S6*S5^2 * S4^2 + A5*S23^2 * S6*S5^2 + A5*S23^2 * S6*S4^2 \\
 & - A5*S23^2 * S6 - A5*S6*S5^2 + A5*S6 - D6*S6*C5*S5 - A6*C6*S6*S5^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{65} = & M6*A6*(A5*C23*S23*C6*S5*S4 - 2*A5*C23*S23*S6*C5*S5*C4 + A5*S23^2 * C6*C5*C4*S4 - A5*S23^2 * S6*S5^2 * S4^2 + 2*A5*S23^2 * \\
 & S6*S5^2 + A5*S23^2 * S6*S4^2 - A5*S23^2 * S6 - A5*S6*S5^2 + A5*S6 + A6*C6*S6)
 \end{aligned}$$

$$\Lambda_{66} = 0$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{61} = & 2*M6*A6*(S2*A2*C6*C4 + S2*A2*S6*C5*S4 + A5*C23*C6*S5*C4 + A5*C23*S6*C5*S5*S4 - A5*S23^2 * C6 * C5 * S4^2 + A5*S23^2 * C6 * C5 \\
 & - A5*S23^2 * S6 * S5^2 * C4 * S4 + A5*S23^2 * S6 * C4 * S4 - D4*C23*S6*C5*S4 + D6*C23*C6*C5*C4 - D6*C23* \\
 & S6*S5^2 * S4 + D6*C23*S6*S4 + D6*S23*C6*S5*S4^2 - D6*S23*S6*C5*S5 - D6*S23*S6*C5*S4 + A6*C23*C6*S6*C5* \\
 & S5*S4 - A6*C23*S6^2 * S5*C4 + A6*C23*S5*C4 - A6*S23*C6*S6*S5^2 * C4*S4 + 2*A6*S23*C6*S6*C4*S4 + 2*A6*S23* \\
 & S6^2 * C5 * S4^2 - A6*S23*S6^2 * C5 - A6*S23*C5*S4^2 + A6*S23*C5)
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{67} = 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S4)^2 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * S4 - A5 * C23 * S23 * S6 * C4 * S4 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * S5 * S4 - D6 * S6 * S5 * S4 + A6 * C6 * S6 * C5 * S5 * S4 - A6 * S6^2 * S5 * C4)$$

$$\sigma_{68} = 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 + A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 + A5 * S23^2 * C6 * C5 * S4 + 2 * A5 * S23^2 * S6 * S5 * C4 - A5 * S23^2 * S6 * C4 - A5 * C6 * C5 * S4 - A5 * S6 * S5 * C4 + A5 * S6 * C4 + D6 * C6 * S5 * S4 + A6 * C6 * S6 * C4 + A6 * S6^2 * C5 * S4 - A6 * C5 * S4)$$

$$\sigma_{69} = 0$$

$$\sigma_{6.10} = 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * C5 * S4)^2 + A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * C4 * S4 - A5 * C23 * S23 * S6 * C4 * S4 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * S5 * S4 - D6 * S6 * S5 * S4 + A6 * C6 * S6 * C5 * S5 * S4 - A6 * S6^2 * S5 * C4)$$

$$\sigma_{6.11} = 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * C6 * S5 * C4 * S4 + A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 * S4 - 2 * A5 * C23 * S23 * S6 * C5 * S5 + A5 * S23^2 * C6 * C5 * S4 + 2 * A5 * S23^2 * S6 * S5 * C4 - A5 * S23^2 * S6 * C4 - A5 * C6 * C5 * S4 - A5 * S6 * S5 * C4 + A5 * S6 * C4 + D6 * C6 * S5 * S4 + A6 * C6 * S6 * C4 + A6 * S6^2 * C5 * S4 - A6 * C5 * S4)$$

$$\sigma_{6.12} = 0$$

$$\sigma_{6.13} = 2 * M6 * A6 * (A5 * C23 * S23 * S6 * S5 * S4)^2 - A5 * S23^2 * C6 * S5 * S4^2 + A5 * S23^2 * S6 * C5 * S5 * C4 * S4 + A5 * C6 * S5 + D6 * C6 * C5 - A6 * S6 * S5^2 + A6 * S5)$$

$$\sigma_{6.14} = 0$$

$$\sigma_{6.15} = 0$$

$$X_6 = M6 * A6 * (C23 * S6 * S5 - S23 * C6 * S4 + S23 * S6 * C5 * C4)$$