

目錄

第一章 前言	12
第二章 理論推導	13
2.1 位置分析	14
2.1.1 各桿件之角位置分析	14
2.1.2 各桿件質心位置	16
2.1.3 彈簧長度分析	17
2.2 速度分析	17
2.2.1 各桿件之角速度分析	17
2.2.2 桿件質心速度與節點速度分析	19
2.2.3 阻尼器速度變化率	20
2.3 加速度分析	20
2.3.1 各桿件之角加速度分析	20
2.3.2 桿件質心速度與節點速度分析	22
2.4 力量分析	23
2.5 能量法驗證輸入力矩	26
2.5.1 能量方程式	26
2.5.2 系統動能時變率	27
2.5.3 系統位能時變率	27

2.5.4	系統能量消耗率	28
2.5.5	輸入力矩計算	29
2.6	解微分方程式	29
2.6.1	微分方程式	29
2.7	飛輪與剎車設計	30
2.7.1	飛輪慣性矩設計	30
2.7.2	剎車扭矩設計	31
第三章	結果與討論	32
3.1	不同輸入轉速下飛輪與煞車設計	33
3.2	馬達係數為 0.0027 之動態特性分析	33
3.3	馬達係數為 0.0054 之動態特性分析	48
3.4	綜合討論	62
3.5	Recurdyn 驗證結果.....	63
第四章	結論與建議	64
4.1	結論	64
4.2	建議	65

圖目錄

圖 2-1 六連桿沖床機構向量迴路分析	13
圖 2-2 桿 2 自由體圖.....	23
圖 2-3 桿 3 自由體圖.....	23
圖 2-4 桿 4 自由體圖.....	24
圖 2-5 桿 5 自由體圖.....	25
圖 2-6 桿 6 自由體圖.....	25
圖 2-7 桿 7 自由體圖.....	26
圖 3-1 加入煞車後之輸入轉速圖	34
圖 3-2 桿 2 第一穩態角位移.....	34
圖 3-3 桿 2 第二穩態角位移.....	34
圖 3-4 桿 3 第一穩態角位移.....	35
圖 3-5 桿 3 第二穩態角位移.....	35
圖 3-6 桿 4 第一穩態角位移.....	35
圖 3-7 桿 4 第二穩態角位移.....	35
圖 3-8 桿 6 第一穩態角位移.....	35
圖 3-9 桿 6 第二穩態角位移.....	35
圖 3-10 桿 7 第一穩態角位移.....	36
圖 3-11 桿 7 第二穩態角位移.....	36

圖 3 - 12 桿 2 第一穩態角速度.....	36
圖 3 - 13 桿 2 第二穩態角速度.....	36
圖 3 - 14 桿 3 第一穩態角速度.....	36
圖 3 - 15 桿 3 第二穩態角速度.....	36
圖 3 - 16 桿 4 第一穩態角速度.....	37
圖 3 - 17 桿 4 第二穩態角速度.....	37
圖 3 - 18 桿 6 第一穩態角速度.....	37
圖 3 - 19 桿 6 第二穩態角速度.....	37
圖 3 - 20 桿 7 第一穩態角速度.....	37
圖 3 - 21 桿 7 第二穩態角速度.....	37
圖 3 - 22 桿 2 第一穩態角加速度	38
圖 3 - 23 桿 2 第二穩態角加速度	38
圖 3 - 24 桿 3 第一穩態角加速度	38
圖 3 - 25 桿 3 第二穩態角加速度	38
圖 3 - 26 桿 4 第一穩態角加速度	38
圖 3 - 27 桿 4 第二穩態角加速度	38
圖 3 - 28 桿 6 第一穩態角加速度	39
圖 3 - 29 桿 6 第二穩態角加速度	39
圖 3 - 30 桿 7 第一穩態角加速度	39
圖 3 - 31 桿 7 第二穩態角加速度	39

圖 3 - 32 桿 2 第一穩態質心位置	39
圖 3 - 33 桿 2 第二穩態質心位置	39
圖 3 - 34 桿 3 第一穩態質心位置	40
圖 3 - 35 桿 3 第二穩態質心位置	40
圖 3 - 36 桿 4 第一穩態質心位置	40
圖 3 - 37 桿 4 第二穩態質心位置	40
圖 3 - 38 桿 6 第一穩態質心位置	40
圖 3 - 39 桿 6 第二穩態質心位置	40
圖 3 - 40 桿 7 第一穩態質心位置	41
圖 3 - 41 桿 7 第二穩態質心位置	41
圖 3 - 42 桿 2 第一穩態質心速度	41
圖 3 - 43 桿 2 第二穩態質心速度	41
圖 3 - 44 桿 3 第一穩態質心速度	41
圖 3 - 45 桿 3 第二穩態質心速度	41
圖 3 - 46 桿 4 第一穩態質心速度	42
圖 3 - 47 桿 4 第二穩態質心速度	42
圖 3 - 48 桿 6 第一穩態質心速度	42
圖 3 - 49 桿 6 第二穩態質心速度	42
圖 3 - 50 桿 7 第一穩態質心速度	42
圖 3 - 51 桿 7 第二穩態質心速度	42

圖 3 - 52 桿 2 第一穩態質心加速度	43
圖 3 - 53 桿 2 第二穩態質心加速度	43
圖 3 - 54 桿 3 第一穩態質心加速度	43
圖 3 - 55 桿 3 第二穩態質心加速度	43
圖 3 - 56 桿 4 第一穩態質心加速度	43
圖 3 - 57 桿 4 第二穩態質心加速度	43
圖 3 - 58 桿 6 第一穩態質心加速度	44
圖 3 - 59 桿 6 第二穩態質心加速度	44
圖 3 - 60 桿 7 第一穩態質心加速度	44
圖 3 - 61 桿 7 第二穩態質心加速度	44
圖 3 - 62 T 第一穩態輸入扭矩	44
圖 3 - 63 T 第二穩態輸入扭矩	44
圖 3 - 64 F_{12} 第一穩態接頭力	45
圖 3 - 65 F_{12} 第二穩態接頭力	45
圖 3 - 66 F_{32} 第一穩態接頭力	45
圖 3 - 67 F_{32} 第二穩態接頭力	45
圖 3 - 68 F_{43} 第一穩態接頭力	45
圖 3 - 69 F_{43} 第二穩態接頭力	45
圖 3 - 70 F_{54} 第一穩態接頭力	46
圖 3 - 71 F_{54} 第二穩態接頭力	46

圖 3 - 72 F_{64} 第一穩態接頭力	46
圖 3 - 73 F_{64} 第二穩態接頭力	46
圖 3 - 74 F_{67} 第一穩態接頭力	46
圖 3 - 75 F_{67} 第二穩態接頭力	46
圖 3 - 76 F_{17} 第一穩態接頭力	47
圖 3 - 77 F_{17} 第二穩態接頭力	47
圖 3 - 78 第一穩態搖撼力力矩.....	47
圖 3 - 79 第二穩態搖撼力力矩.....	47
圖 3 - 80 第一穩態搖撼力分力.....	47
圖 3 - 81 第二穩態搖撼力分力.....	47
圖 3 - 82 加入煞車後之輸入轉速圖	48
圖 3 - 83 桿 2 第一穩態角位移.....	49
圖 3 - 84 桿 2 第二穩態角位移.....	49
圖 3 - 85 桿 3 第一穩態角位移.....	49
圖 3 - 86 桿 3 第二穩態角位移.....	49
圖 3 - 87 桿 4 第一穩態角位移.....	49
圖 3 - 88 桿 4 第二穩態角位移.....	49
圖 3 - 89 桿 6 第一穩態角位移.....	50
圖 3 - 90 桿 6 第二穩態角位移.....	50
圖 3 - 91 桿 7 第一穩態角位移.....	50

圖 3 - 92 桿 7 第二穩態角位移.....	50
圖 3 - 93 桿 2 第一穩態角速度.....	50
圖 3 - 94 桿 2 第二穩態角速度.....	50
圖 3 - 95 桿 3 第一穩態角速度.....	51
圖 3 - 96 桿 3 第二穩態角速度.....	51
圖 3 - 97 桿 4 第一穩態角速度.....	51
圖 3 - 98 桿 4 第二穩態角速度.....	51
圖 3 - 99 桿 6 第一穩態角速度.....	51
圖 3 - 100 桿 6 第二穩態角速度	51
圖 3 - 101 桿 7 第一穩態角速度	52
圖 3 - 102 桿 7 第二穩態角速度	52
圖 3 - 103 桿 2 第一穩態角加速度	52
圖 3 - 104 桿 2 第二穩態角加速度	52
圖 3 - 105 桿 3 第一穩態角加速度	52
圖 3 - 106 桿 3 第二穩態角加速度	52
圖 3 - 107 桿 4 第一穩態角加速度	53
圖 3 - 108 桿 4 第二穩態角加速度	53
圖 3 - 109 桿 6 第一穩態角加速度	53
圖 3 - 110 桿 6 第二穩態角加速度.....	53
圖 3 - 111 桿 7 第一穩態角加速度.....	53

圖 3 - 112 桿 7 第二穩態角加速度.....	53
圖 3 - 113 桿 2 第一穩態質心位置.....	54
圖 3 - 114 桿 2 第二穩態質心位置.....	54
圖 3 - 115 桿 3 第一穩態質心位置.....	54
圖 3 - 116 桿 3 第二穩態質心位置.....	54
圖 3 - 117 桿 4 第一穩態質心位置.....	54
圖 3 - 118 桿 4 第二穩態質心位置.....	54
圖 3 - 119 桿 6 第一穩態質心位置.....	55
圖 3 - 120 桿 6 第二穩態質心位置	55
圖 3 - 121 桿 7 第一穩態質心位置	55
圖 3 - 122 桿 7 第二穩態質心位置	55
圖 3 - 123 桿 2 第一穩態質心速度	55
圖 3 - 124 桿 2 第二穩態質心速度	55
圖 3 - 125 桿 3 第一穩態質心速度	56
圖 3 - 126 桿 3 第二穩態質心速度	56
圖 3 - 127 桿 4 第一穩態質心速度	56
圖 3 - 128 桿 4 第二穩態質心速度	56
圖 3 - 129 桿 6 第一穩態質心速度	56
圖 3 - 130 桿 6 第二穩態質心速度	56
圖 3 - 131 桿 7 第一穩態質心速度	57

圖 3 - 132 桿 7 第二穩態質心速度	57
圖 3 - 133 桿 2 第一穩態質心加速度	57
圖 3 - 134 桿 2 第二穩態質心加速度	57
圖 3 - 135 桿 3 第一穩態質心加速度	57
圖 3 - 136 桿 3 第二穩態質心加速度	57
圖 3 - 137 桿 4 第一穩態質心加速度	58
圖 3 - 138 桿 4 第二穩態質心加速度	58
圖 3 - 139 桿 6 第一穩態質心加速度	58
圖 3 - 140 桿 6 第二穩態質心加速度	58
圖 3 - 141 桿 7 第一穩態質心加速度	58
圖 3 - 142 桿 7 第二穩態質心加速度	58
圖 3 - 143 T 第一穩態輸入扭矩	59
圖 3 - 144 T 第二穩態輸入扭矩	59
圖 3 - 145 F_{12} 第一穩態接頭力	59
圖 3 - 146 F_{12} 第二穩態接頭力	59
圖 3 - 147 F_{32} 第一穩態接頭力	59
圖 3 - 148 F_{32} 第二穩態接頭力	59
圖 3 - 149 F_{43} 第一穩態接頭力	60
圖 3 - 150 F_{43} 第二穩態接頭力	60
圖 3 - 151 F_{54} 第一穩態接頭力	60

圖 3 - 152 F_{54} 第二穩態接頭力	60
圖 3 - 153 F_{64} 第一穩態接頭力	60
圖 3 - 154 F_{64} 第二穩態接頭力	60
圖 3 - 155 F_{67} 第一穩態接頭力	61
圖 3 - 156 F_{67} 第二穩態接頭力	61
圖 3 - 157 F_{17} 第一穩態接頭力	61
圖 3 - 158 F_{17} 第二穩態接頭力	61
圖 3 - 159 第一穩態搖撼力力矩	61
圖 3 - 160 第二穩態搖撼力力矩	61
圖 3 - 161 第一穩態搖撼力分力	62
圖 3 - 162 第二穩態搖撼力分力	62
圖 3 - 163 Matlab 理論推導與 Recurdyn 動態分析之輸入轉速疊圖	63

第一章 前言

本文主要接續前兩次報告次對六連桿沖床機構的運動分析及力分析，對系統進行動態分析。沖床機構是由馬達所驅動，不同馬達會有不同的特性曲線，本文之目的為分析並討論六連桿沖床機構在馬達的帶動下，不同時間呈現出的動態特性。藉由能量法列出每個轉速下系統的能量變化，搭配數值方法(Runge-Kutta)解微分方程，推導輸入桿件在時域下的角速度角加速度變化，分析各桿件在有無外加彈簧和阻尼情況下的運動特性、力分析以及動態特性曲線。

本文第二章使用向量迴路法和運動係數法來對此機構做運動分析，可以得到不同桿件的運動方程式，包含位置、速度、加速度，利用運動係數法可以使複雜的微分方程式簡化，能夠快速求得所有桿件、接點以及質心的運動特性，大幅降低了動力分析的複雜性。接著，我們對此六連桿機構進行力分析及列式，推導能量法的驗證過程，完成理論分析。最後由能量微分方程式，推導出輸入桿的動態特性，進一步分析整個沖床系統的動態變化。

在輸入不同的動力源進行分析後，第三章將撰寫 Matlab 程式碼將第二章的理論推倒以程式分析，並以圖表呈現分析的結果。接著利用商用軟體 Recurdyn 來驗證以確保其正確性，隨後進行討論。

最後，在第四章中將整合以上的分析和結果進行討論，做出結論與建議。

第二章 理論推導

本章節利用機動課程之所學，向量迴路法(Vector Loop Approach)，求出各桿件的角位置、角速度、角加速度，進而求出桿件質心之位置、速度、加速度，將向量迴路法的 x 、 y 分量之方程式對 θ_2 微分，得到各桿件對 θ_2 微分的運動係數 h_3 、 h_4 、 h_6 、 f_5 ；再將上述的運動係數對 θ_2 微分，即可得到二次微分運動係數 h'_3 、 h'_4 、 h'_6 、 f'_5 。

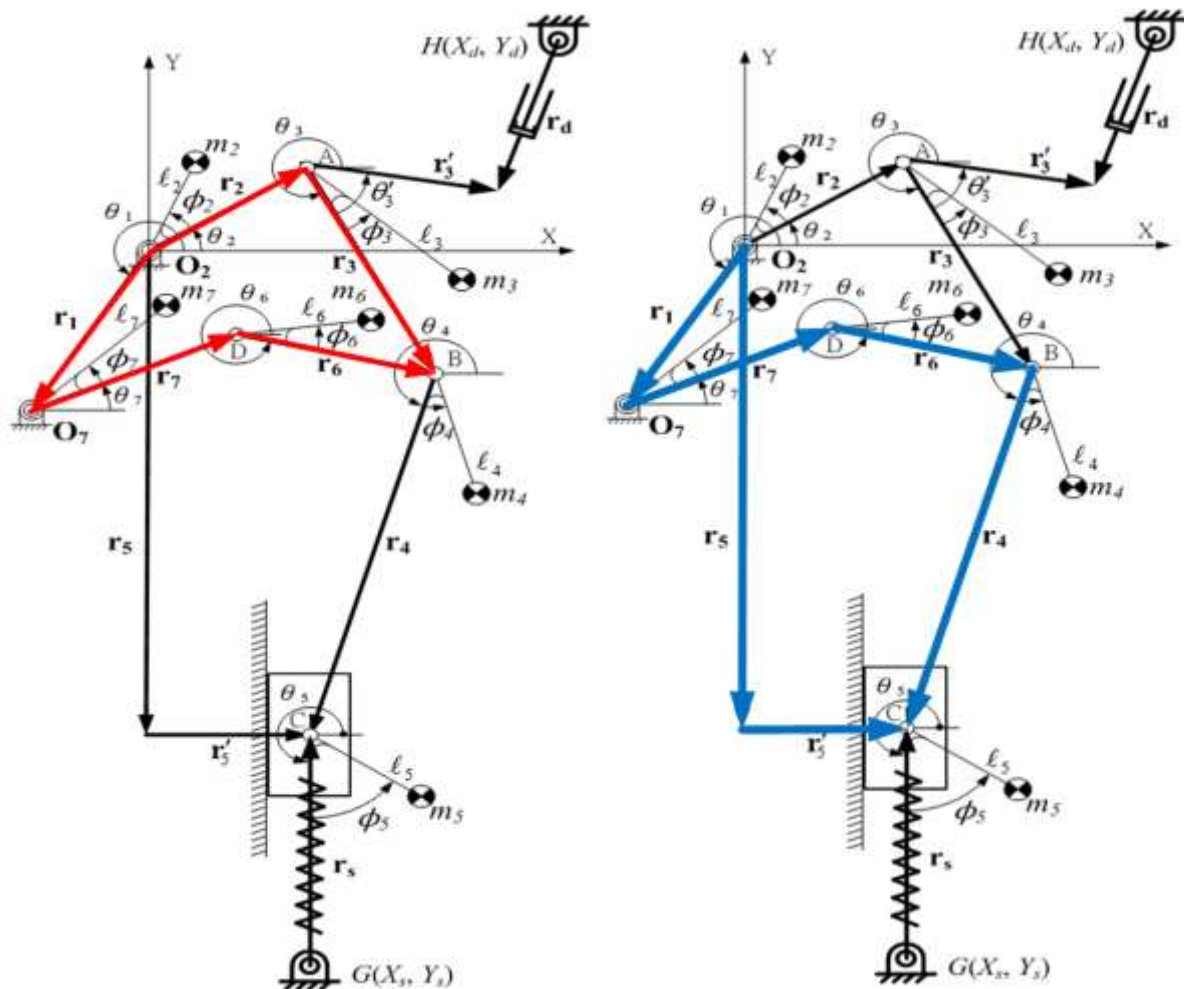


圖 2-1 六連桿沖床機構向量迴路分析

2.1 位置分析

分析輸入桿在不同的角度時之各桿件的角位置，並且利用角位置算出各節點的位置座標，角位置分析結果往後會應用於角速度、角加速度分析過程中，位置座標分析結果往後會應用於速度、加速度分析過程中。

2.1.1 各桿件之角位置分析

利用向量迴路法分析圖 2-1 的第一迴圈，可得迴圈關係式：

$$\vec{r}_2 + \vec{r}_3 = \vec{r}_1 + \vec{r}_7 + \vec{r}_6 \quad (2-1)$$

將式(2-1)分成卡式座標之 x 、 y 方向分量可得：

$$r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 = r_1 \cos \theta_1 + r_7 \cos \theta_7 + r_6 \cos \theta_6 \quad (2-2)$$

$$r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 = r_1 \sin \theta_1 + r_7 \sin \theta_7 + r_6 \sin \theta_6 \quad (2-3)$$

移項可得：

$$r_3 \cos \theta_3 = r_1 \cos \theta_1 - r_2 \cos \theta_2 + r_6 \cos \theta_6 + r_7 \cos \theta_7 \quad (2-4)$$

$$r_3 \sin \theta_3 = r_1 \sin \theta_1 - r_2 \sin \theta_2 + r_6 \sin \theta_6 + r_7 \sin \theta_7 \quad (2-5)$$

為了消去一變數，我們將(2-4)、(2-5)平方相加後可得：

$$\begin{aligned} r_3^2 &= r_1^2 + r_2^2 + r_6^2 + r_7^2 \\ &\quad -2(r_1 r_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) - r_1 r_7 \cos(\theta_1 - \theta_7) + r_2 r_7 \cos(\theta_2 - \theta_7)) \\ &\quad +2 \cos \theta_6 \cdot (r_1 r_6 \cos \theta_1 - r_2 r_6 \cos \theta_2 + r_6 r_7 \cos \theta_7) \\ &\quad +2 \sin \theta_6 \cdot (r_1 r_6 \sin \theta_1 - r_2 r_6 \sin \theta_2 + r_6 r_7 \sin \theta_7) \end{aligned} \quad (2-6)$$

將式(2-6)簡化成：

$$A \cos \theta_6 + B \sin \theta_6 = C \quad (2-7)$$

其中上式的變數為：

$$A = 2(r_1 r_6 \cos \theta_1 - r_2 r_6 \cos \theta_2 + r_6 r_7 \cos \theta_7) \quad (2-8)$$

$$B = 2(r_1 r_6 \sin \theta_1 - r_2 r_6 \sin \theta_2 + r_6 r_7 \sin \theta_7) \quad (2-9)$$

$$C = r_3^2 - r_1^2 - r_2^2 - r_6^2 - r_7^2 + 2(r_1 r_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) - r_1 r_7 \cos(\theta_1 - \theta_7) + r_2 r_7 \cos(\theta_2 - \theta_7)) \quad (2-10)$$

利用三角函數將式(2-7)進行替換，可得：

$$A(1 - \tan^2 \frac{\theta_6}{2}) + 2B \tan(\frac{\theta_6}{2}) = C(1 + \tan^2(\frac{\theta_6}{2})) \quad (2-11)$$

式(2-11)為一元二次方程式，利用公式解可得：

$$\theta_6 = 2 \tan^{-1} \left(\frac{B \pm \sqrt{(B^2 + A^2 - C^2)}}{A + C} \right) \quad (2-12)$$

其中式(2-12)的正負號是因為五連桿機構會產生兩種運動分支，必須經由桿件的運動來進行判斷，經實作過後結果可得取負號，接著將算出來的 θ_6 帶入式(2-4)可得 θ_3 。

接著利用向量迴路法分析圖 2-1 的第二迴圈，可得迴圈關係式：

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_4 - \vec{r}_5 - \vec{r}_5' + \vec{r}_7 + \vec{r}_6 = 0 \quad (2-13)$$

將式(2-1)分成卡式座標之 x 、 y 方向分量並且代入已知的固定參數可得：

$$r_1 \cos \theta_1 + r_4 \cos \theta_4 + r_7 \cos \theta_7 + r_6 \cos \theta_6 = 0 \quad (2-14)$$

$$r_1 \sin \theta_1 + r_4 \sin \theta_4 + r_5 + r_7 \sin \theta_7 + r_6 \sin \theta_6 = 0 \quad (2-15)$$

將式(2-12)帶入式(2-14)可得 θ_4 ，再利用上述結果即可得到式(2-15)的 r_5 ，在整個沖床系統的下方有一彈簧，我們可以用固定點 O_2 、 G 兩點的長度減去 r_5 之值，即可得到彈簧長度 r_s ，也就是：

$$r_s = \overline{O_2G} - r_5 \quad (2-16)$$

為了要求出阻尼器的阻尼力的方向必須找到 θ_d 的值，可利用桿件的位置座標並代入反三角函數來求出：

$$\theta_d = \tan^{-1}\left(\frac{Y_h - Y_s}{X_h - X_s}\right) \quad (2-17)$$

2.1.2 各桿件質心位置

藉由前一小節所算出之角位置(θ_3 、 θ_6 、 θ_6)以及桿件長度(r_5)，再由題目所提供之已知條件(l_i 、 r_i 、 θ_i 、 φ_i)來求得各桿質心座標位置：

$$x_{g2} = l_2 \cos(\theta_2 + \varphi_2) \quad (2-18)$$

$$y_{g2} = l_2 \sin(\theta_2 + \varphi_2) \quad (2-19)$$

$$x_{g3} = r_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos(\theta_3 + \varphi_3) \quad (2-20)$$

$$y_{g3} = r_2 \sin \theta_2 + l_3 \sin(\theta_3 + \varphi_3) \quad (2-21)$$

$$x_{g4} = r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 + l_4 \cos(\theta_4 + \varphi_4) \quad (2-22)$$

$$y_{g4} = r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 + l_4 \sin(\theta_4 + \varphi_4) \quad (2-23)$$

$$x_{g7} = r_1 \cos \theta_1 + l_7 \cos(\theta_7 + \varphi_7) \quad (2-24)$$

$$y_{g7} = r_1 \sin \theta_1 + l_7 \sin(\theta_7 + \varphi_7) \quad (2-25)$$

$$x_{g6} = r_1 \cos \theta_1 + r_7 \cos \theta_7 + l_6 \cos(\theta_6 + \varphi_6) \quad (2-26)$$

$$y_{g6} = r_1 \sin \theta_1 + r_7 \sin \theta_7 + l_6 \sin(\theta_6 + \varphi_6) \quad (2-27)$$

2.1.3 彈簧長度分析

本節是要對彈簧的長度進行分析，也就是線段 \overline{CG} ，利用 2.1.1 小節的角位置分析即可知道彈簧長度可表示為：

$$L_s = \sqrt{(X_c - X_s)^2 + (Y_c - Y_s)^2} \quad (2-28)$$

2.2 速度分析

本節會利用使用運動係數法對沖床桿件進行角速度以及速度分析，同時算出阻尼器的位置變化率以求解往後所要算的阻尼力。

2.2.1 各桿件之角速度分析

為了探討各桿件角速度對 θ_2 的變化情形，我們將 2.1.1 小節所推導的式(2-2)式(2-3)對 θ_2 進行微分，可得：

$$r_2 \sin \theta_2 + h_3 r_6 \sin \theta_3 - h_6 r_6 \sin \theta_6 + r_7 \sin \theta_7 = 0 \quad (2-29)$$

$$-r_2 \cos \theta_2 - h_3 r_6 \sin \theta_3 + h_6 r_6 \sin \theta_6 - r_7 \sin \theta_7 = 0 \quad (2-30)$$

其中

$$h_3 = \frac{d\theta_3}{d\theta_2} \quad h_6 = \frac{d\theta_6}{d\theta_2} \quad (2-31)$$

將式(2-29)及(2-30)變成矩陣形式做運算：

$$\begin{bmatrix} r_3 \sin \theta_3 & -r_6 \sin \theta_6 \\ -r_3 \cos \theta_3 & r_6 \cos \theta_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_3 \\ h_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_2 \sin \theta_2 - r_7 \sin \theta_7 \\ r_2 \cos \theta_2 + r_7 \cos \theta_7 \end{bmatrix} \quad (2-32)$$

由(2-32)可求得 h_3 、 h_6 ，並且將 ω_3 、 ω_6 寫成鏈鎖律形式再利用上述的運動係數即可求出角速度值：

$$\omega_3 = \frac{d\theta_3}{dt} = \frac{d\theta_3}{d\theta_2} \cdot \frac{d\theta_2}{dt} = h_3 \omega_2 \quad (2-33)$$

$$\omega_6 = \frac{d\theta_6}{dt} = \frac{d\theta_6}{d\theta_2} \cdot \frac{d\theta_2}{dt} = h_6 \omega_2 \quad (2-34)$$

接著對另一迴圈進行角速度、速度分析，一樣將式(2-14)以及式(2-15)對 θ_2

進行微分，可得：

$$-h_4 r_4 \sin \theta_4 - r_6 h_6 \sin \theta_6 + r_7 \sin \theta_7 = 0 \quad (2-35)$$

$$r_4 h_4 \cos \theta_4 + f_5 + r_6 h_6 \cos \theta_6 - r_7 \cos \theta_7 = 0 \quad (2-36)$$

其中

$$h_4 = \frac{d\theta_4}{d\theta_2} \quad f_5 = \frac{dr_5}{d\theta_2}$$

將(2-35)式及(2-36)變成矩陣形式做運算：

$$\begin{bmatrix} -r_4 \sin \theta_4 & 0 \\ r_4 \cos \theta_4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_4 \\ f_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_6 h_6 \sin \theta_6 - r_7 \sin \theta_7 \\ -r_6 h_6 \cos \theta_6 + r_7 \cos \theta_7 \end{bmatrix} \quad (2-37)$$

由(2-37)可求得 h_3 、 h_4 ，並且將 ω_4 、 f_5 寫成鏈鎖律形式再利用上述的運動係數即可求出角速度值以及速度值：

$$\omega_4 = \frac{d\theta_4}{dt} = \frac{d\theta_4}{d\theta_2} \cdot \frac{d\theta_2}{dt} = h_4 \omega_2 \quad (2-38)$$

$$v_5 = \frac{dr_5}{dt} = \frac{dr_5}{d\theta_2} \cdot \frac{d\theta_2}{dt} = f_5 \omega_2 \quad (2-39)$$

2.2.2 桿件質心速度與節點速度分析

將 2.2.1 節利用運動係數法求出來的角速度(ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 v_5)，再由題目所提供之已知條件(l_i 、 r_i 、 θ_i 、 φ_i)來求得各桿質心速度及其 x 、 y 方向分量：

$$v_{g2_x} = l_2 \omega_2 \cos(\theta_2 + \varphi_2) \quad (2-40)$$

$$v_{g2_y} = l_2 \omega_2 \sin(\theta_2 + \varphi_2) \quad (2-41)$$

$$v_{g3_x} = r_2 \omega_2 \cos \theta_2 + l_3 \omega_3 \cos(\theta_3 + \varphi_3) \quad (2-42)$$

$$v_{g3_y} = r_2 \omega_2 \sin \theta_2 + l_3 \omega_3 \sin(\theta_3 + \varphi_3) \quad (2-43)$$

$$v_{g4_x} = r_2 \omega_2 \cos \theta_2 + r_3 \omega_3 \cos \theta_3 + l_4 \omega_4 \cos(\theta_4 + \varphi_4) \quad (2-44)$$

$$v_{g4_y} = r_2 \omega_2 \sin \theta_2 + r_3 \omega_3 \sin \theta_3 + l_4 \omega_4 \sin(\theta_4 + \varphi_4) \quad (2-45)$$

$$v_{g7_x} = l_7 \omega_7 \cos(\theta_7 + \varphi_7) \quad (2-46)$$

$$v_{g7_y} = l_7 \omega_7 \sin(\theta_7 + \varphi_7) \quad (2-47)$$

$$v_{g6_x} = r_7 \omega_7 \cos \theta_7 + l_6 \omega_6 \cos(\theta_6 + \varphi_6) \quad (2-48)$$

$$v_{g6_y} = r_7 \omega_7 \sin \theta_7 + l_6 \omega_6 \sin(\theta_6 + \varphi_6) \quad (2-49)$$

2.2.3 阻尼器速度變化率

為了算出阻力器的位置變化率，可以建立一個通過阻尼器的向量關係式：

$$\vec{r}_2 + \vec{r}_3' + \vec{r}_d + \vec{r}_{OH} = 0 \quad (2-50)$$

上式中的 \vec{r}_{OH} 為常數項，因此我們將上式分成兩分量並對時間微分，可得：

$$-\theta_2' r_2 \cos \theta_2 - r_3' \theta_3 \sin(\theta_3 + \theta_3') + v_d \cos \theta_d - r_d \sin \theta_d \omega_d = 0 \quad (2-51)$$

$$\theta_2' r_2 \cos \theta_2 + r_3' \theta_3 \cos(\theta_3 + \theta_3') + v_d \sin \theta_d + r_d \cos \theta_d \omega_d = 0 \quad (2-52)$$

將(2-17)式代入上式中，並且將上式寫成矩陣形式：

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_d & -r_d \sin \theta_d \\ \sin \theta_d & r_d \cos \theta_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ \omega_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_2 r_2 \sin \theta_2 + \omega_3 r_3' \sin(\theta_3 + \theta_3') \\ -\omega_2 r_2 \cos \theta_2 - \omega_3 r_3' \cos(\theta_3 + \theta_3') \end{bmatrix} \quad (2-53)$$

由(2-37)即可求出阻尼器位置變化率。

2.3 加速度分析

本節會利用使用運動係數法對沖床桿件進行角加速度以及質心加速度分析。

2.3.1 各桿件之角加速度分析

為了探討各桿件角加速度及加速度對 θ_2 的變化情形，我們將 2.2.1 小節所推導的式 (2-29)式(2-30)對 θ_2 進行微分，可得：

$$r_2 \cos \theta_2 + h_3' r_3 \sin \theta_3 + h_3^2 r_3 \cos \theta_3 - h_6' r_6 \sin \theta_6 - h_6^2 r_6 \cos \theta_6 - r_7 \cos \theta_7 \quad (2-54)$$

$$r_2 \sin \theta_2 + h_3' r_3 \cos \theta_3 + h_3^2 r_3 \sin \theta_3 + h_6' r_6 \cos \theta_6 - h_6^2 r_6 \sin \theta_6 - r_7 \sin \theta_7 \quad (2-55)$$

其中

$$h'_3 = \frac{d^2\theta_3}{d^2\theta_2} \quad h'_6 = \frac{d^2\theta_6}{d^2\theta_2} \quad (2-56)$$

將式(2-54)及(2-55)變成矩陣形式做運算：

$$\begin{bmatrix} r_3 \sin \theta_3 & -r_6 \sin \theta_6 \\ -r_3 \cos \theta_3 & r_6 \cos \theta_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h'_3 \\ h'_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_2 \sin \theta_2 - r_7 \sin \theta_7 \\ r_2 \cos \theta_2 + r_7 \cos \theta_7 \end{bmatrix} \quad (2-57)$$

由(2-56)可求得 h'_3 、 h'_6 ，並且將 α_3 、 α_6 寫成連鎖律形式再利用上述的運動係數即可求出角加速度值：

$$\alpha_3 = \frac{dw_3}{dt} = \frac{d(h_3\omega_2)}{dt} = \omega_2 \frac{dh_3}{dt} + h_3 \frac{d\omega_2}{dt} = h'_3 \omega_2^2 + h_3 \alpha_2 \quad (2-58)$$

$$\alpha_6 = \frac{dw_6}{dt} = \frac{d(h_6\omega_2)}{dt} = \omega_2 \frac{dh_6}{dt} + h_6 \frac{d\omega_2}{dt} = h'_6 \omega_2^2 + h_6 \alpha_2 \quad (2-59)$$

接著對另一迴圈進行角加速度、加速度分析，一樣將(2-35)式以及(2-36)

式對 θ_2 進行微分，可得：

$$-h'_4 r_4 \sin \theta_4 - h_4^2 r_4 \cos \theta_4 - h'_6 r_6 \sin \theta_6 - h_6^2 r_6 \cos \theta_6 - r_7 \cos \theta_7 = 0 \quad (2-60)$$

$$h'_4 r_4 \cos \theta_4 - h_4^2 r_4 \sin \theta_4 + f'_5 + h'_6 r_6 \cos \theta_6 - h_6^2 r_6 \sin \theta_6 - r_7 \sin \theta_7 = 0 \quad (2-61)$$

其中

$$h'_4 = \frac{d^2\theta_4}{d^2\theta_2} \quad f'_5 = \frac{d^2r_5}{d^2\theta_2} \quad (2-62)$$

將(2-60)式及(2-61)式變成矩陣形式做運算：

$$\begin{bmatrix} -r_4 \sin \theta_4 & 0 \\ r_4 \cos \theta_4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h'_4 \\ f'_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_4^2 r_4 \cos \theta_4 + h'_6 r_6 \sin \theta_6 + h_6^2 r_6 \cos \theta_6 + r_7 \cos \theta_7 \\ h_4^2 r_4 \sin \theta_4 - h'_6 r_6 \sin \theta_6 + h_6^2 r_6 \sin \theta_6 + r_7 \sin \theta_7 \end{bmatrix} \quad (2-63)$$

由可求得 h_4' 、 f_5' ，並且將 α_4 、 a_5 寫成鏈鎖律形式再利用上述的運動係數即可
 求出角加速度值以及加速度值：

$$\alpha_4 = \frac{dw_4}{dt} = \frac{d(h_4\omega_2)}{dt} = \omega_2 \frac{dh_4}{dt} + h_4 \frac{d\omega_2}{dt} = h_4' \omega_2^2 + h_4 \alpha_2 \quad (2-64)$$

$$a_5 = \frac{dv_5}{dt} = \frac{d(f_5\omega_2)}{d\theta_2} = \omega_2 \frac{df_5}{d\theta_2} + f_5 \frac{d\omega_2}{d\theta_2} = f_5' \omega_2^2 + f_5 \alpha_2 \quad (2-65)$$

2.3.2 桿件質心速度與節點速度分析

將 2.2.1 節利用運動係數法求出來的角加速度(α_2 、 α_3 、 α_4 、 α_5)，再由題目所提供之已知條件(l_i 、 r_i 、 θ_i 、 φ_i)來求得各桿質心加速度及其 x 、 y 方向分量：

$$a_{g2_x} = -l_2 \omega_2^2 \cos(\theta_2 + \varphi_2) \quad (2-66)$$

$$a_{g2_y} = -l_2 \omega_2^2 \sin(\theta_2 + \varphi_2) \quad (2-67)$$

$$a_{g3_x} = -r_2 \omega_2^2 \cos \theta_2 - l_3 \omega_3^2 \cos(\theta_3 + \varphi_3) + l_3 \alpha_3 \cos(\theta_3 + \varphi_3) \quad (2-68)$$

$$a_{g3_y} = r_2 \omega_2^2 \sin \theta_2 + l_3 \omega_3^2 \sin(\theta_3 + \varphi_3) + l_3 \alpha_3 \sin(\theta_3 + \varphi_3) \quad (2-69)$$

$$a_{g4_x} = -r_2 \omega_2^2 \sin \theta_2 - r_3 \omega_3^2 \sin \theta_3 + r_3 \alpha_3 \cos \theta_3 - l_4 \omega_4^2 \sin(\theta_4 + \varphi_4) + l_4 \alpha_4 \cos(\theta_4 + \varphi_4) \quad (2-70)$$

$$a_{g4_y} = r_2 \omega_2^2 \cos \theta_2 + r_3 \omega_3^2 \cos \theta_3 - r_3 \alpha_3 \sin \theta_3 + l_4 \omega_4^2 \cos(\theta_4 + \varphi_4) + l_4 \alpha_4 \sin(\theta_4 + \varphi_4) \quad (2-71)$$

$$a_{g7_x} = -l_7 \omega_7^2 \sin(\theta_7 + \varphi_7) \quad (2-72)$$

$$a_{g7_y} = l_7 \omega_7^2 \cos(\theta_7 + \varphi_7) \quad (2-73)$$

$$a_{g6_x} = -r_7 \omega_7^2 \sin \theta_7 - l_6 \omega_6^2 \sin(\theta_6 + \varphi_6) + l_6 \alpha_6 \cos(\theta_6 + \varphi_6) \quad (2-74)$$

$$a_{g6_y} = r_7 \omega_7^2 \cos \theta_7 + l_6 \omega_6^2 \cos(\theta_6 + \varphi_6) + l_6 \alpha_6 \sin(\theta_6 + \varphi_6) \quad (2-75)$$

2.4 力量分析

本章節為對六連桿沖床機構進行受力分析，利用自由體圖定義各桿件所受的力以及方向，再以牛頓第二運動定律列方程式，將所有的力以及等效力變成矩陣形式，以便日後用 Matlab 進行分析。

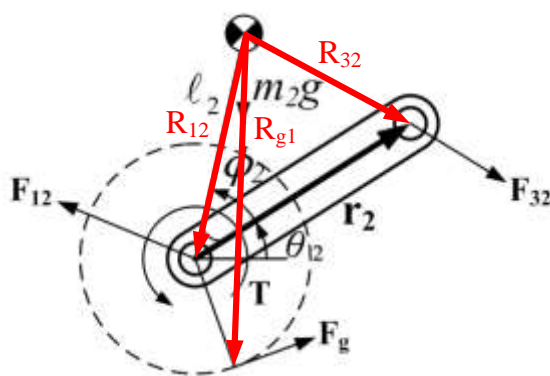


圖 2-2 桿 2 自由體圖

桿 2 平衡方程式：

$$-F_{12x} + F_{32x} - F_{gx} = m_2 a_{g2x} \quad (2-76)$$

$$F_{12y} + F_{32y} + F_{gy} - m_2 g = m_2 a_{g2y} \quad (2-77)$$

$$T + F_{12x} R_{12y} + F_{12y} R_{12x} - F_{32x} R_{32y} + F_{32y} R_{32x} + F_{gx} R_{g1y} + F_{gy} R_{g1x} = I_2 \alpha_2 \quad (2-78)$$

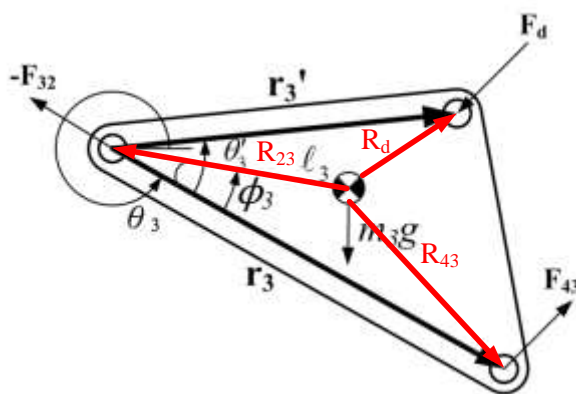


圖 2-3 桿 3 自由體圖

桿 3 平衡方程式：

$$-F_{32x} + F_{43x} - F_{dx} = m_3 a_{g3x} \quad (2-79)$$

$$F_{32y} + F_{43y} - F_{dy} - m_3 g_3 = m_3 a_{g3y} \quad (2-80)$$

$$F_{32x} R_{23y} + F_{32y} R_{23x} - F_{43x} R_{43y} + F_{43y} R_{43x} + F_{dx} R_{dy} - F_{dy} R_{dx} = I_3 \alpha_3 \quad (2-81)$$

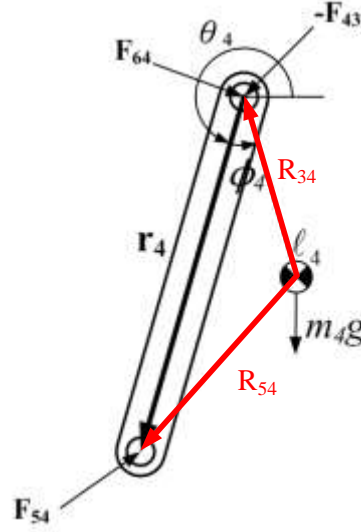


圖 2-4 桿 4 自由體圖

桿 4 平衡方程式：

$$-F_{43x} + F_{64x} + F_{54x} = m_4 a_{4x} \quad (2-82)$$

$$-F_{43y} - F_{64y} + F_{54y} - m_4 g = m_4 a_{g4y} \quad (2-83)$$

$$F_{43x} R_{34y} - F_{43y} R_{34x} - F_{64x} R_{34y} - F_{64y} R_{34x} - F_{54x} R_{54y} + F_{54y} R_{54x} = I_4 \alpha_4 \quad (2-84)$$

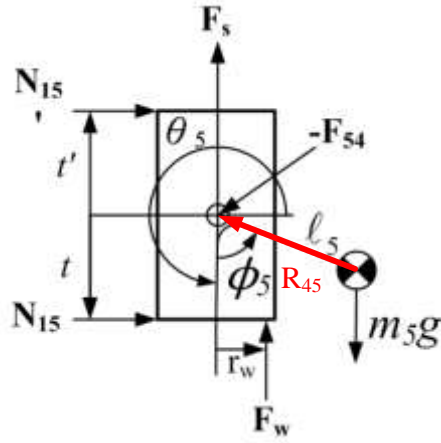


圖 2-5 桿 5 自由體圖

桿 5 平衡方程式：

$$N_{15} + N_{15}' - F_{54x} = m_5 a_{5x} \quad (2-85)$$

$$F_w - F_{54y} + m_5 g + F_s = m_5 a_{5y} \quad (2-86)$$

$$F_{54x} R_{45y} - F_{54y} R_{45x} + N_{15}(t - R_{45y}) - N_{15}'(t' + R_{45y}) - F_w(R_{45x} - r_w) = I_5 \alpha_5 \quad (2-87)$$

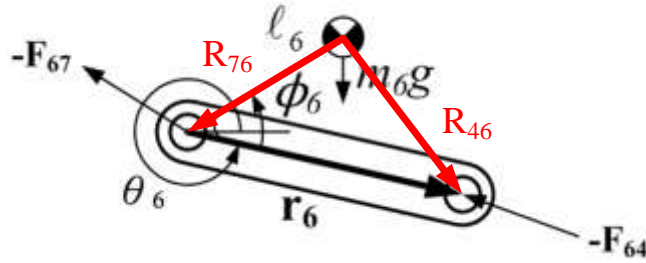


圖 2-6 桿 6 自由體圖

桿 6 平衡方程式：

$$-F_{67x} - F_{64x} = m_6 a_{6x} \quad (2-88)$$

$$F_{67y} + F_{64y} - m_6 g = m_6 a_{6y} \quad (2-89)$$

$$F_{67x} R_{76y} + F_{67y} R_{76x} + F_{64x} R_{46y} + F_{64y} R_{46x} = I_6 \alpha_6 \quad (2-90)$$

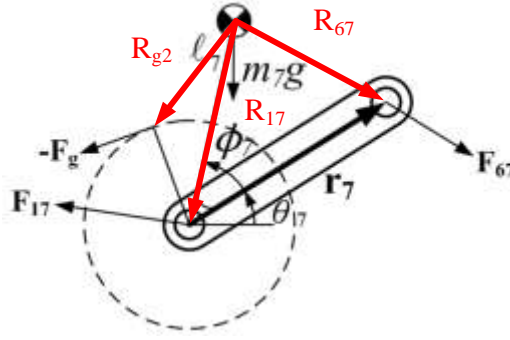


圖 2-7 桿 7 自由體圖

桿 7 平衡方程式：

$$F_{67x} - F_{17x} + F_{gx} = m_7 a_{g7x} \quad (2-91)$$

$$-F_{67y} + F_{17y} - F_{gy} - m_7 g = m_7 a_{g2_7} \quad (2-92)$$

$$-F_{67x} R_{67y} - F_{67y} R_{67x} + F_{17x} R_{17y} + F_{17y} R_{17x} + F_{gx} R_{g2y} - F_{gy} R_{g2x} = I_7 \alpha_7 \quad (2-93)$$

將上述 18 條方程式寫成矩陣形式，並且解出 18 個未知數

2.5 能量法驗證輸入力矩

本節為能量法之推導以及證明，並且在之後章節利用其驗證 2.4 節之輸入
扭矩分析是否正確

2.5.1 能量方程式

一個機構系統受外力做功，其能量方程式可以寫成：

$$W = \Delta T + \Delta U + W_f \quad (2-94)$$

其中， W 為外力做功淨值、 ΔT 為動能改變量、 ΔU 為位能改變量、 W_f 為摩擦

能量消耗量。

若將式(2-94)對時間微分可以得到 Power Equation 如下：

$$P = \frac{dT}{dt} + \frac{dU}{dt} + P_f \quad (2-95)$$

其中， $\frac{dT}{dt}$ 為系統動能時變率、 $\frac{dU}{dt}$ 為系統位能時變率、 P_f 為系統能量消耗功率。

2.5.2 系統動能時變率

系統的總動能時變率為機構個個桿件動能時變率的加總，每個桿件的動能可以表示為：

$$T = \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (2-96)$$

將上式以運動係數表示為：

$$T = \left[\frac{1}{2}m(f_x^2 + f_y^2) + \frac{1}{2}Ih^2 \right] \dot{S}_i^2 \quad (2-97)$$

將其對時間微分且將各桿件的時變率相加，得到系統總動能時變率：

$$\frac{dT}{dt} = \sum_{k=2}^n \left[m_k (f_{kx}^2 + f_{ky}^2) + I_k h_k^2 \right] \dot{S}_i \ddot{S}_i + \sum_{k=2}^n \left[m_k (f_{kx} f'_{kx} + f_{ky} f'_{ky}) + I_k h_k h'_k \right] \dot{S}_i^3 \quad (2-98)$$

2.5.3 系統位能時變率

系統總位能時變率為系統各桿件位能時變率的總和，而位能時變率又可以分為重力位能時變率和駝力位能時變率，其中重力位能的總和可以表示為：

$$U_e = mgH \quad (2-99)$$

將上式微分可以得到系統總重力位能時變率：

$$\frac{dU_e}{dt} = \sum_{k=2}^n (m_k g) f_{ky} \dot{S}_i \quad (2-100)$$

同樣的方式可以得到系統的總彈力位能時變率：

$$\frac{dU_s}{dt} = \sum \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} k (r_s - L_0)^2 \right] = k \sum (r_s - L_0) \dot{r}_s \quad (2-101)$$

其中， r_s 為彈簧長度、 L_0 為彈簧原長、 k 為彈簧係數，因此系統總位能變化率為各桿件重力位能時變率及彈力位能時變率之總和：

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dU_e}{dt} + \frac{dU_s}{dt} \quad (2-102)$$

2.5.4 系統能量消耗率

此沖床機構在運行的過能中能量消耗率成因有兩個，一個為外力 F_w 作功抵抗，另一個為阻尼運動時消耗的功率，表示為：

$$P_f = P_{F_w} + P_{damper} \quad (2-103)$$

其中， P_{F_w} 為外力造成的能量消耗率：

$$P_{F_w} = F_w (-V_{g5y}) \quad (2-104)$$

P_{damper} 為阻尼造成能量消耗率：

$$P_{damper} = d_c \times V_{damper}^2 \quad (2-105)$$

2.5.5 輸入力矩計算

利用輸入力矩和總能量時變率之關係式，可以得到輸入力矩為：

$$T = \frac{P}{\omega_2} \quad (2-106)$$

2.6 解微分方程式

2.6.1 微分方程式

此小節以能量方程式為基礎，列出微分方程式進行動態時間分析，有利於了解機構各桿的運動狀態隨時間的變化，其所使用的公式為：

$$P = \frac{dT}{dt} + \frac{dU_s}{dt} + \frac{dU_e}{dt} + P_{F_w} + P_{damper} \quad (2-107)$$

其中：

$$\frac{dT}{dt} = \sum_{k=2}^n [m_k (f_{kx}^2 + f_{ky}^2) + I_k h_k^2] \dot{S}_i \ddot{S}_i + \sum_{k=2}^n [m_k (f_{kx} f'_{kx} + f_{ky} f'_{ky}) + I_k h_k h'_k] \dot{S}_i^3 \quad (2-108)$$

$$P = T_{input} \dot{S}_i \quad (2-109)$$

代入(2-98)式，同乘 \dot{S}_i 可得：

$$\begin{aligned} T_{input} = & \sum_{k=2}^n [m_k (f_{kx}^2 + f_{ky}^2) + I_k h_k^2] \ddot{S}_i + \sum_{k=2}^n [m_k (f_{kx} f'_{kx} + f_{ky} f'_{ky}) + I_k h_k h'_k] \dot{S}_i^2 \\ & + \frac{dU_s}{\dot{S}_i dt} + \frac{dU_e}{\dot{S}_i dt} + \frac{P_{F_w}}{\dot{S}_i} + \frac{P_{damper}}{\dot{S}_i} \end{aligned} \quad (2-110)$$

將式子(2-101)裡 \ddot{S}_i 移向，即可得到 \dot{S}_i 與其他項關係，將各項值代入可得：

$$\ddot{\theta}_2 = [(T_{input} - \sum_{k=2}^6 [m_k (f_{kx} f'_{kx} + f_{ky} f'_{ky}) + I_k h_k h'_k] \dot{\theta}_2^2 - \sum_{k=2}^6 [m_k g \times f_{ky}] - F_w \times f_{5y} - d_c \times f_d^2 \times \dot{\theta}_2 - k \times \Delta l \times f_{5y})] \div \sum_{k=2}^6 [m_k (f_{kx}^2 + f_{ky}^2) + I_k h_k^2] \quad (2-111)$$

將微分方程式寫成矩陣列出如下：

$$y = \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (2-112)$$

$$y' = \begin{bmatrix} y(1) \\ [(T_{input} - \sum_{k=2}^6 [m_k (f_{kx} f'_{kx} + f_{ky} f'_{ky}) + I_k h_k h'_k] \dot{\theta}_2^2 - \sum_{k=2}^6 [m_k g \times f_{ky}] - F_w \times f_{5y} - d_c \times f_d^2 \times \dot{\theta}_2 - k \times \Delta l \times f_{5y})] \div \sum_{k=2}^6 [m_k (f_{kx}^2 + f_{ky}^2) + I_k h_k^2] \end{bmatrix} \quad (2-113)$$

2.7 飛輪與剎車設計

飛輪為一種儲存動能的裝置，藉由加入飛輪增加輸入桿曲柄的慣性，平衡馬達輸入所需承受的衝擊並降低曲柄轉速的波動。煞車由摩擦輪及皮帶輪所組成，利用摩擦力對輸入桿產生扭矩並作負功，抵消系統的動能。

2.7.1 飛輪慣性矩設計

飛輪的設計目的為降低輸入轉速的波動量，因此主要針對曲柄扭矩與平均扭矩差值對角度積分，有最大能量處進行設計。利用能量法求出在一周期內桿二在不同位置之扭矩 T_L 與平均扭矩 T_{avg} ，經由以下方法分析結果，可以得知設計飛輪之慣性矩為：

$$\Delta e = \int_{\theta_2}^{\theta_2 + \Delta \theta_2} (T_L - T_{avg}) d\theta_2 = [(T_L - T_{avg})_{\theta_2} + (T_L - T_{avg})_{\theta_2 + \Delta \theta_2}] \Delta \theta_2 / 2 \quad (2-114)$$

$$e_{i+1} = e_i + \Delta e \quad (2-115)$$

$$E = (e_i)_{\max} - (e_i)_{\min} \quad (2-116)$$

$$I_s = \frac{E}{k\omega_{avg}^2} \quad (2-117)$$

$$I_F = \frac{I_s - I_C}{g^2} - I_J \quad (2-118)$$

2.7.2 剎車扭矩設計

剎車作用時，馬達與二桿間之離合器會分開，故剎車扭矩作功主要為抵消煞車開始瞬間系統的總動能，在由作功時二桿之角度變化來決定煞車扭矩，而剎車扭矩之計算公式為：

$$I_R = \sum_{i=2}^n \left(\frac{1}{2} m_i V_{gi}^2 + \frac{1}{2} I_i \omega_i^2 \right) / 0.5 \omega_2^2 \quad (2-119)$$

$$I = I_R + g^2 I_J \quad (2-120)$$

$$T_B = \frac{\frac{1}{2} I \omega_2^2}{\theta_{2f} - \theta_{2i}} \quad (2-121)$$

將題目指定三種轉速(10 rad/s、60 rad/s、120 rad/s)和動態分析第二穩態平均轉速的條件代入，可求出四個煞車扭矩，而本文主要探討動態分析之煞車設計，因此以動態平均轉速的煞車扭矩作為輸入。

第三章 結果與討論

本章節將第二章推導的理論撰寫成 Matlab 程式碼，利用已知的馬達特性曲線配合能量法的微分方程式，解出系統運動的動態特性，並且在不同轉速下設計飛輪慣性矩和剎車扭矩。第二步將設計好之飛輪及煞車加上系統後作動態分析，討論第一穩態及第二穩態之運動特性，並在最後利用商用軟體 Recurdyn 驗證 Matlab 程式碼撰寫的正確性。

以下將分別針對不同狀況進行討論及分析，結果包含系統之等效慣性矩、輸入轉速之時間響應、各桿件在第一及第二穩態下一周期的位置、速度、加速度、接頭力與輸入扭矩以及此沖床機構在運動時產生之搖撼力與搖撼力矩；比較兩種馬達係數對系統之影響，接著對輸入桿的 Coefficient of fluctuation 及 Average speed 作討論。最後，再用 Recurdyn 與能量法來驗證結果的正確性。

3.1 不同輸入轉速下飛輪與煞車設計

經由上述之理論基礎，可以計算出當工作轉速為 10、60、120 rad/s 下設計飛輪之慣性矩與煞車扭矩。

ω_2 (rad/s)	10 rad/s	60 rad/s	120 rad/s
飛輪慣性矩	22.145 kg-m ²	1.814 kg-m ²	1.7054 kg-m ²
煞車扭矩 (a = 0.0027)	進入穩態時間過長	-1718.9 N-m	-1721.5 N-m
煞車扭矩 (a = 0.0054)	進入穩態時間過長	-2276.8 N-m	-2276 N-m

3.2 馬達係數為 0.0027 之動態特性分析

本節將以馬達係數為 0.0027 之馬達作輸入端的狀態下，探討加入飛輪急煞車之後，等校慣性矩、輸入轉速之時間響應、各桿件在第一及第二穩態時的運動特性、輸入扭矩、受力情形與對機架造成之搖撼力與搖撼力矩。

2 nd ss ω_2 (rad/s)	飛輪慣性矩	煞車扭矩
38.3475 rad/s	2.0684 kg-m ²	-2278.5 N-m

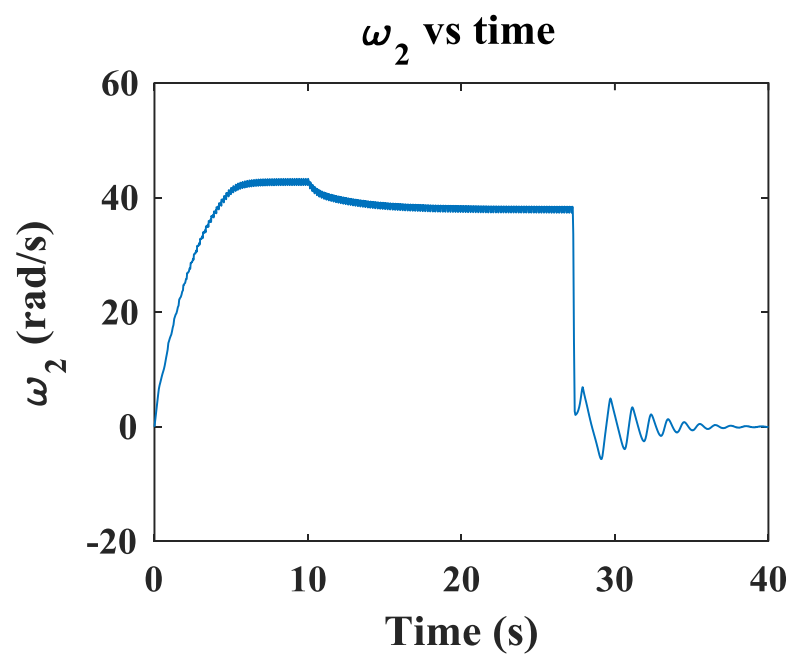


圖 3 - 1 加入煞車後之輸入轉速圖

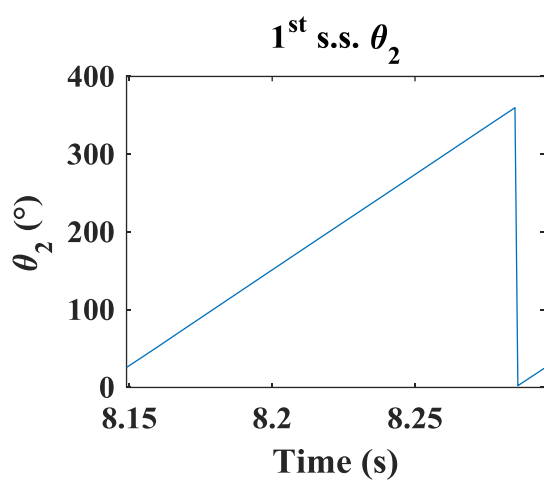


圖 3 - 2 桿 2 第一穩態角位移

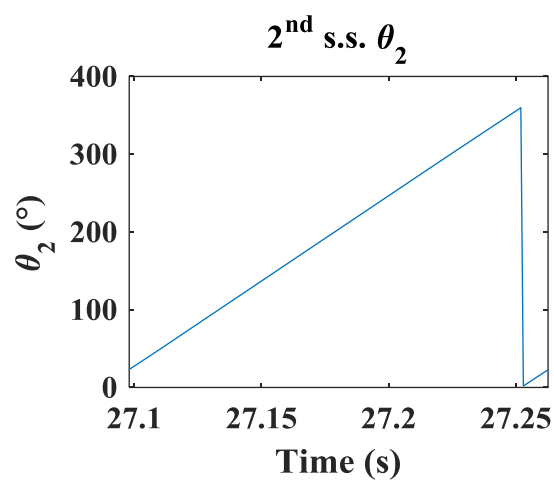


圖 3 - 3 桿 2 第二穩態角位移

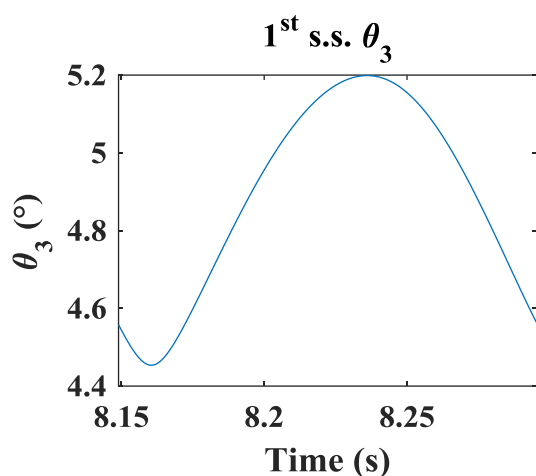


圖 3 - 4 桿 3 第一穩態角位移

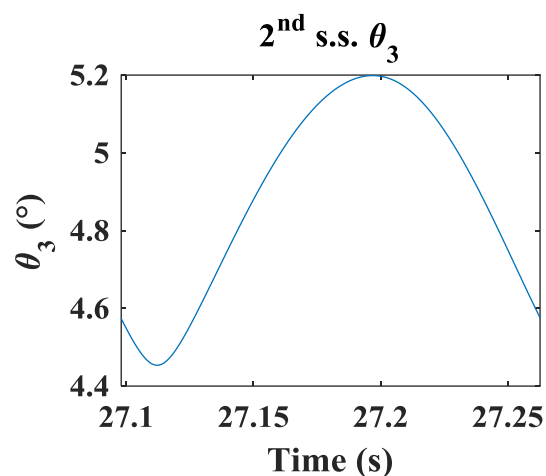


圖 3 - 5 桿 3 第二穩態角位移

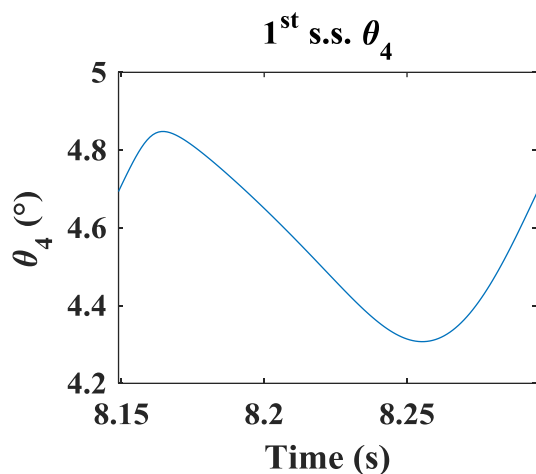


圖 3 - 6 桿 4 第一穩態角位移

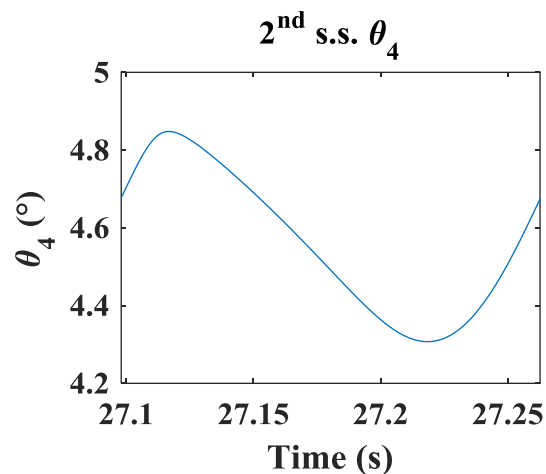


圖 3 - 7 桿 4 第二穩態角位移

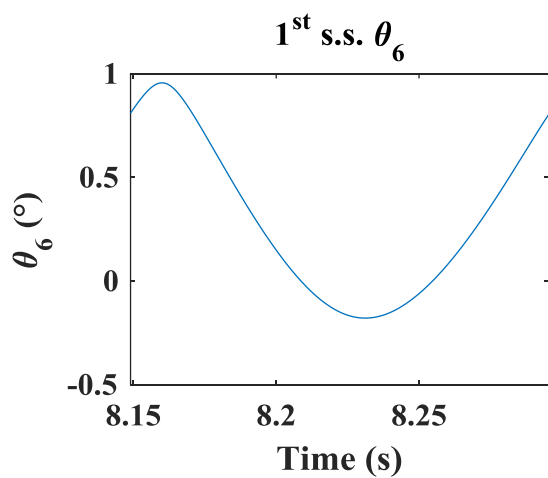


圖 3 - 8 桿 6 第一穩態角位移

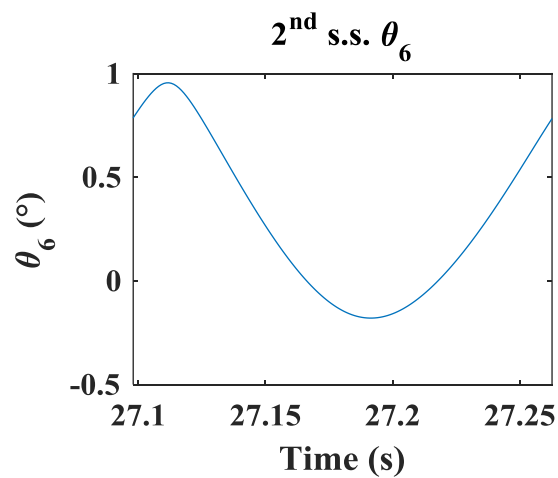


圖 3 - 9 桿 6 第二穩態角位移

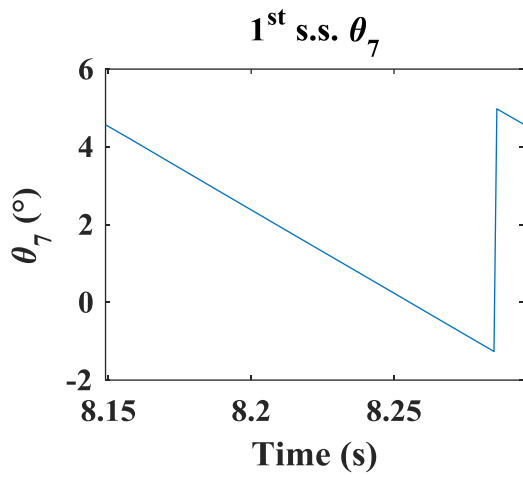


圖 3 - 10 桿 7 第一穩態角位移

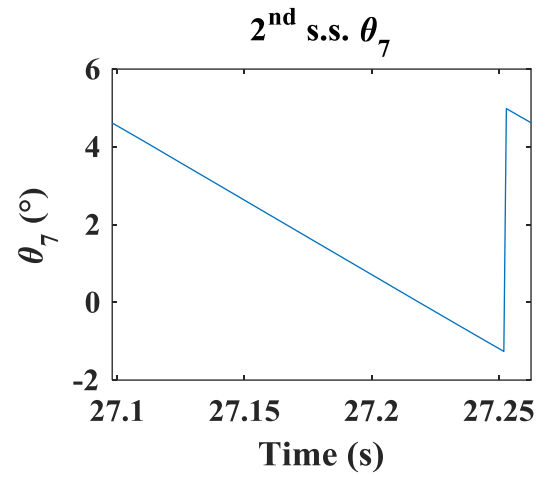


圖 3 - 11 桿 7 第二穩態角位移

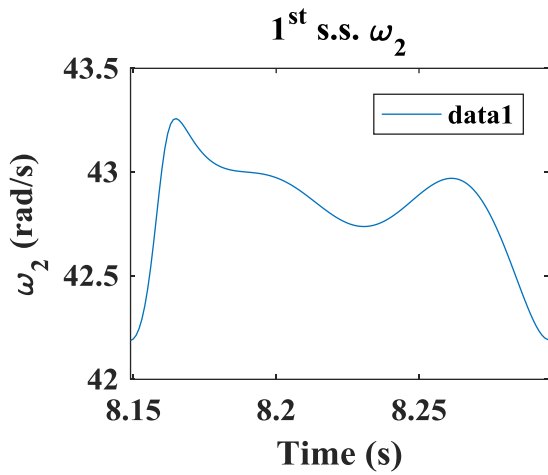


圖 3 - 12 桿 2 第一穩態角速度

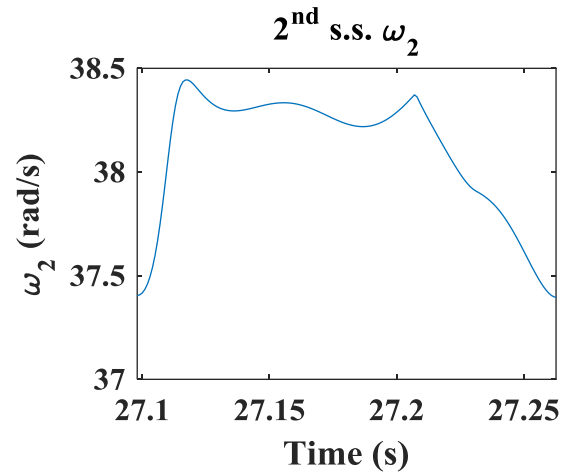


圖 3 - 13 桿 2 第二穩態角速度

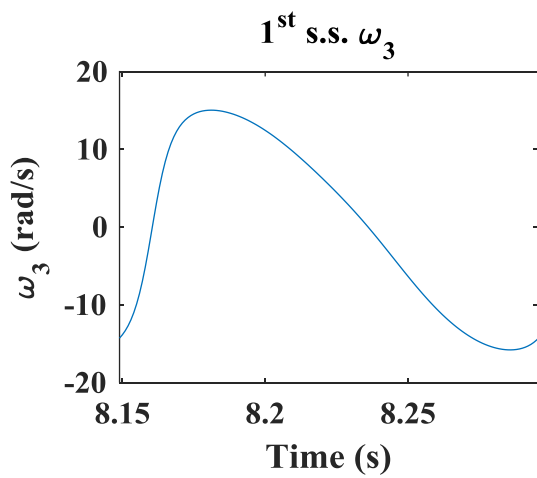


圖 3 - 14 桿 3 第一穩態角速度

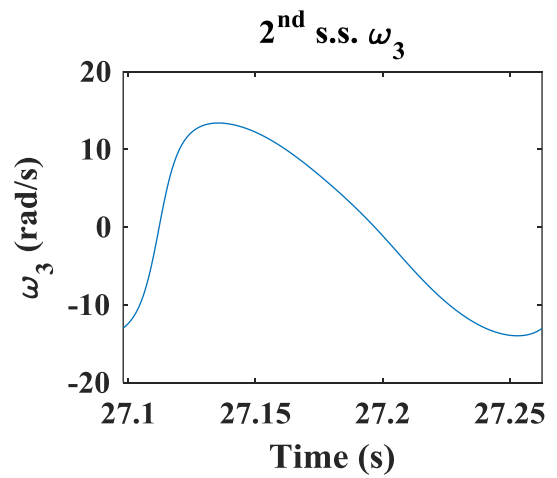


圖 3 - 15 桿 3 第二穩態角速度

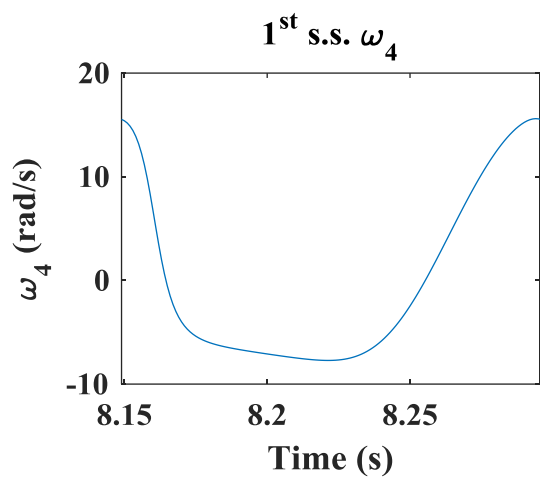


圖 3 - 16 桿 4 第一穩態角速度

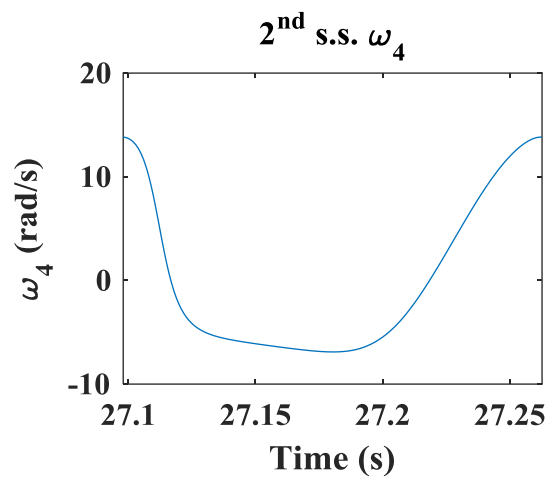


圖 3 - 17 桿 4 第二穩態角速度

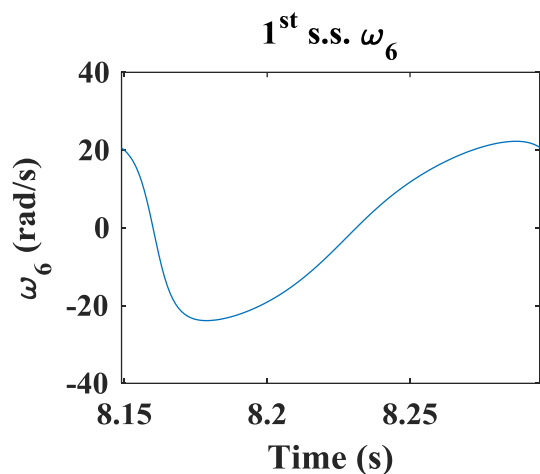


圖 3 - 18 桿 6 第一穩態角速度

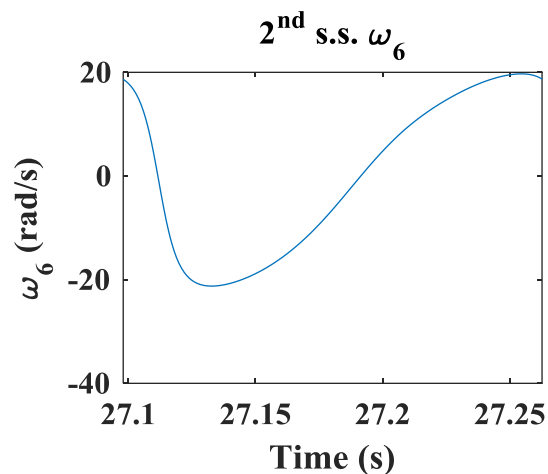


圖 3 - 19 桿 6 第二穩態角速度

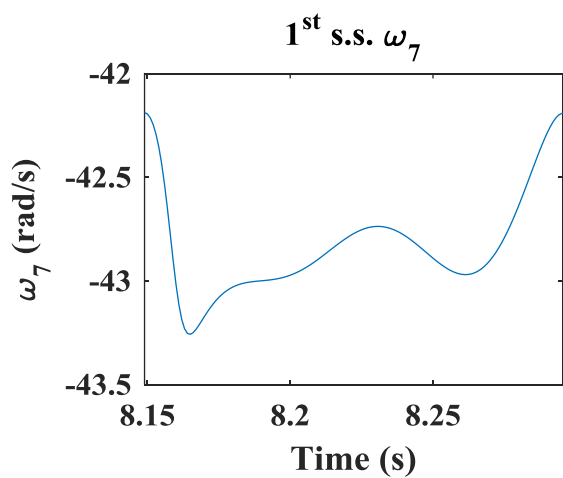


圖 3 - 20 桿 7 第一穩態角速度

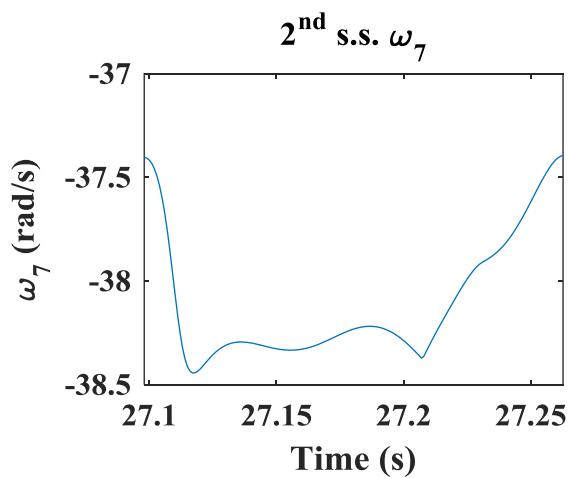


圖 3 - 21 桿 7 第二穩態角速度

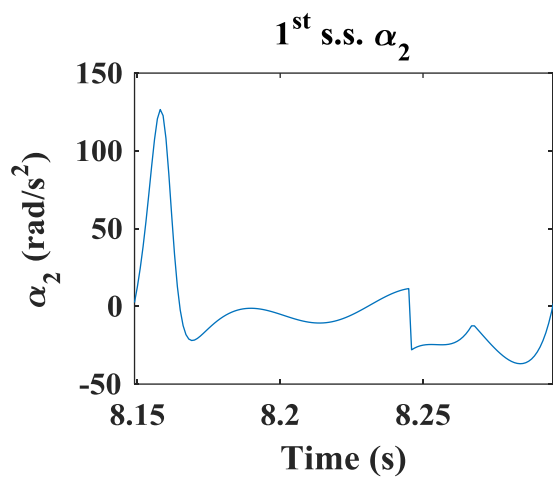


圖 3 - 22 桿 2 第一穩態角加速度

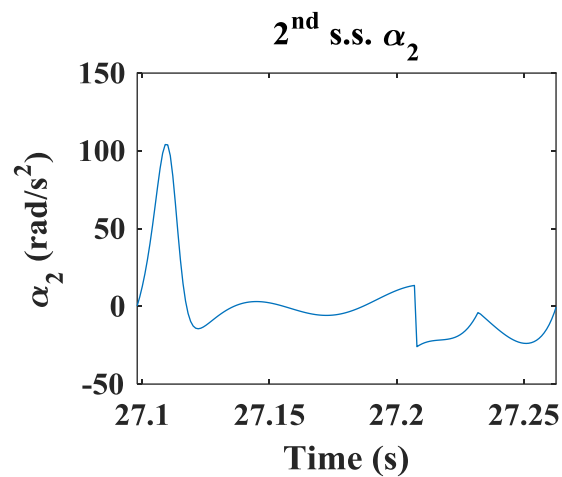


圖 3 - 23 桿 2 第二穩態角加速度

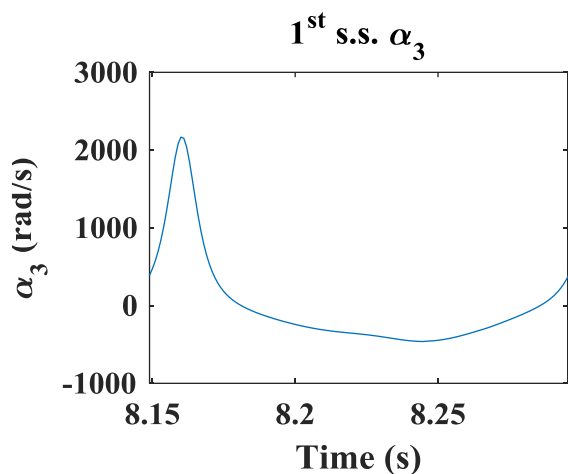


圖 3 - 24 桿 3 第一穩態角加速度

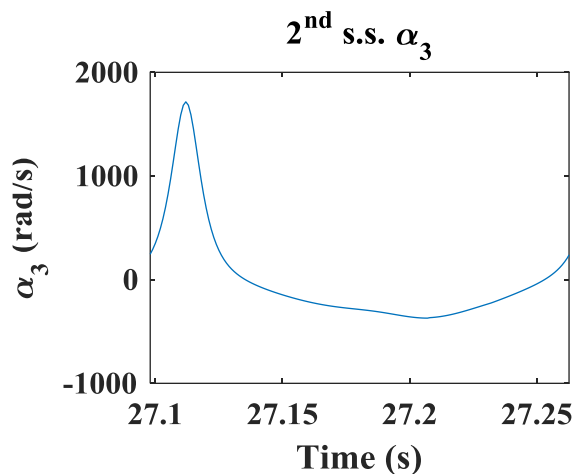


圖 3 - 25 桿 3 第二穩態角加速度

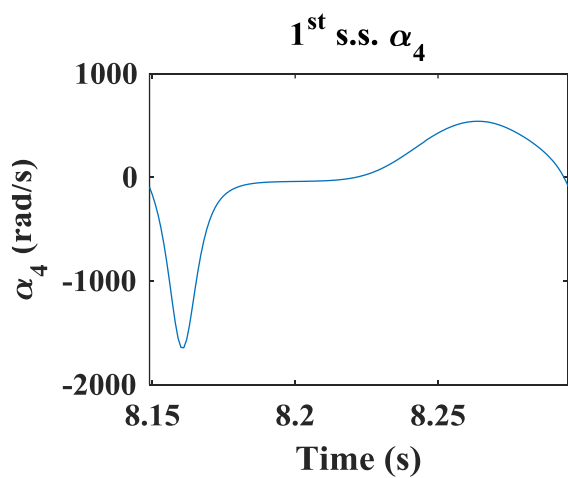


圖 3 - 26 桿 4 第一穩態角加速度

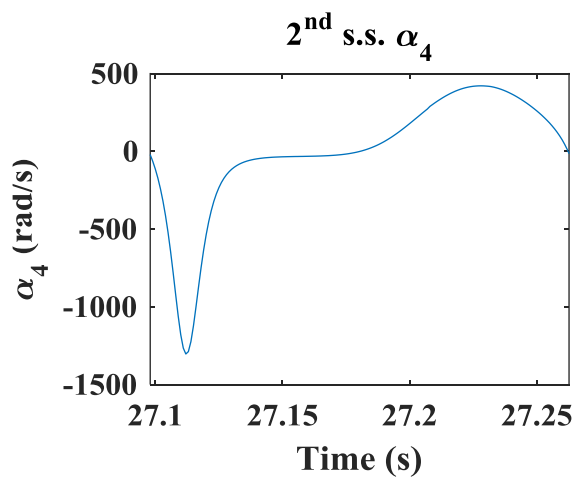


圖 3 - 27 桿 4 第二穩態角加速度

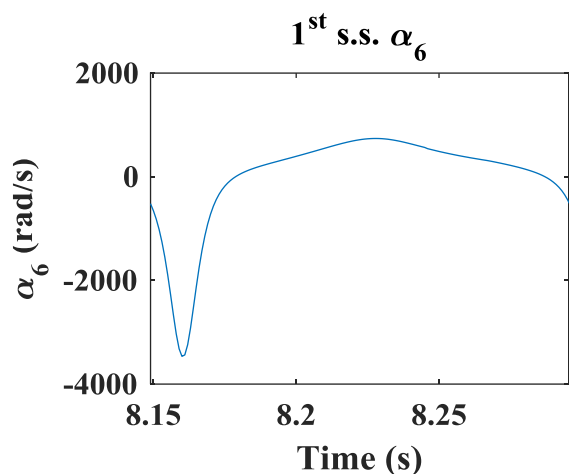


圖 3 - 28 桿 6 第一穩態角加速度

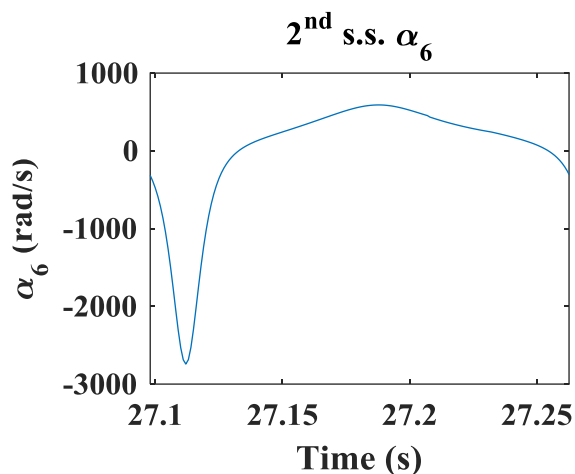


圖 3 - 29 桿 6 第二穩態角加速度

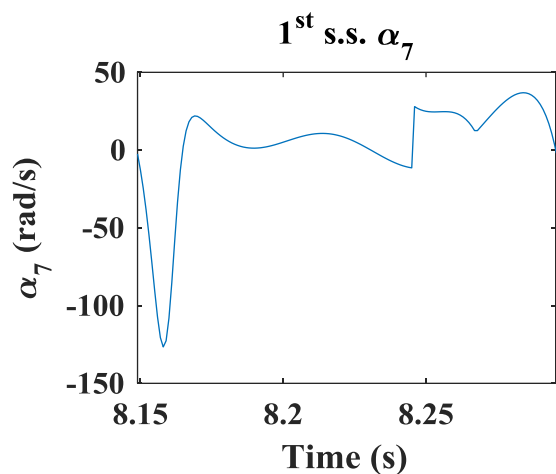


圖 3 - 30 桿 7 第一穩態角加速度

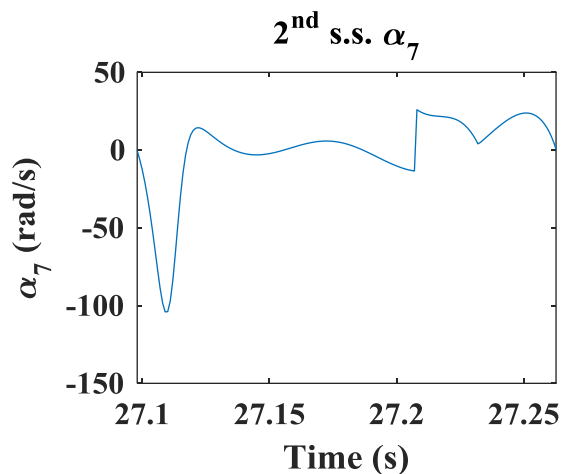


圖 3 - 31 桿 7 第二穩態角加速度

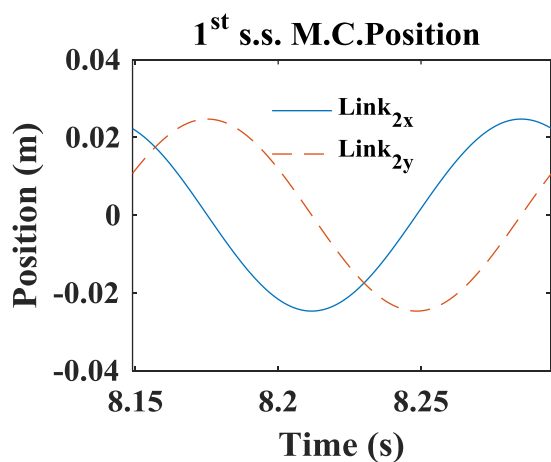


圖 3 - 32 桿 2 第一穩態質心位置

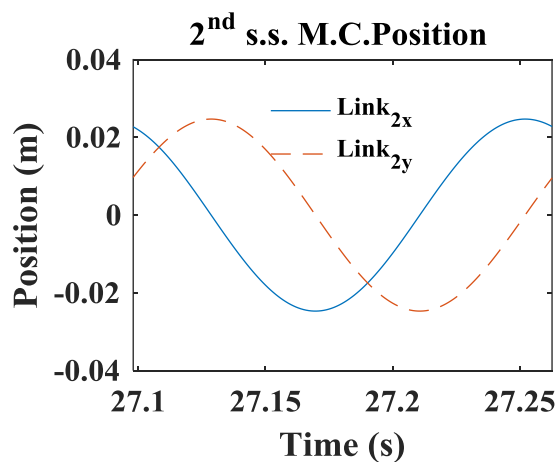


圖 3 - 33 桿 2 第二穩態質心位置

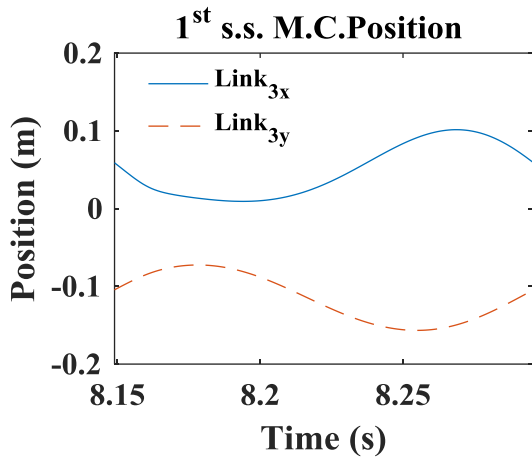


圖 3 - 34 桿 3 第一穩態質心位置

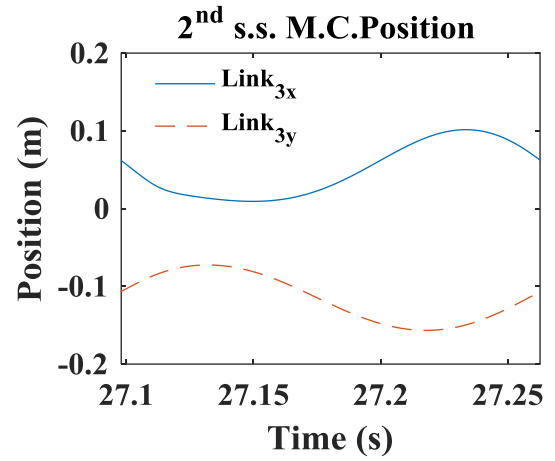


圖 3 - 35 桿 3 第二穩態質心位置

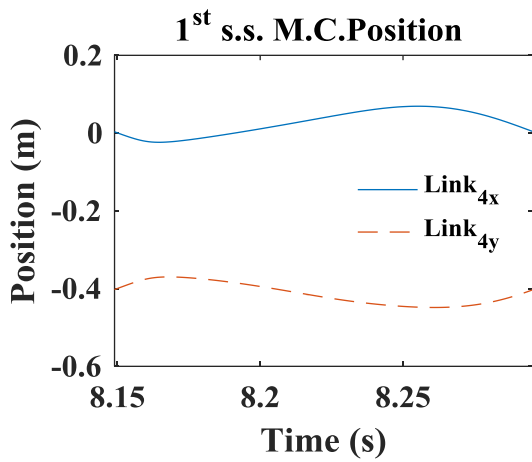


圖 3 - 36 桿 4 第一穩態質心位置

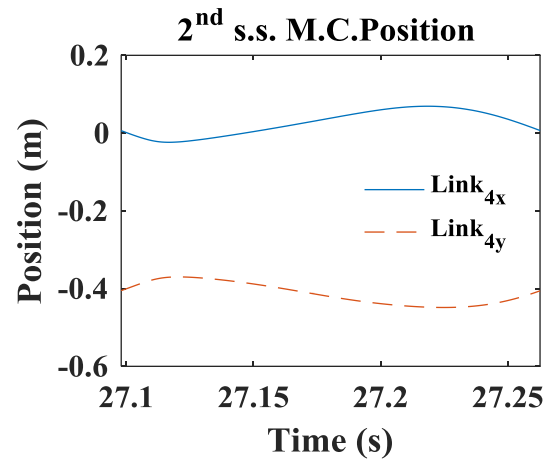


圖 3 - 37 桿 4 第二穩態質心位置

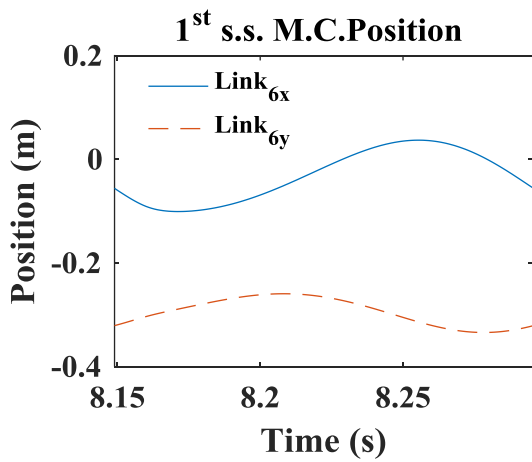


圖 3 - 38 桿 6 第一穩態質心位置

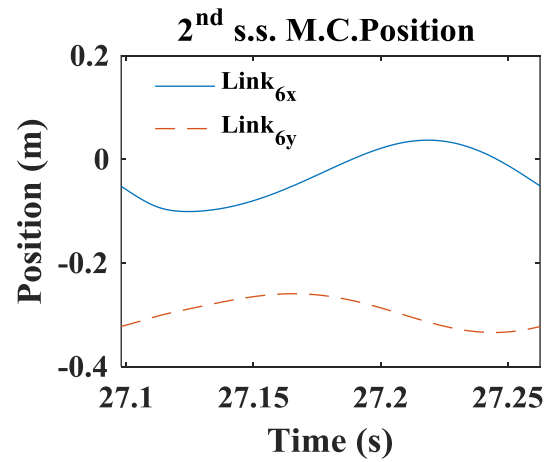


圖 3 - 39 桿 6 第二穩態質心位置

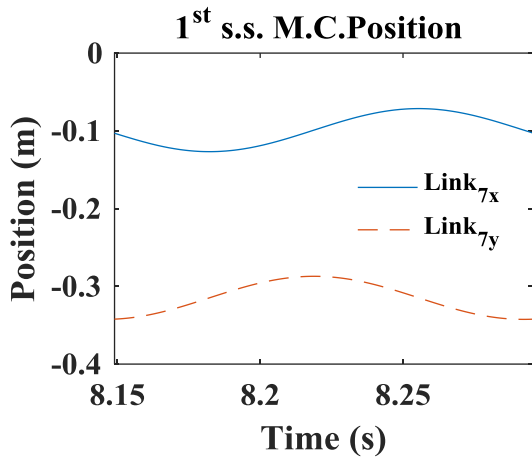


圖 3 - 40 桿 7 第一穩態質心位置

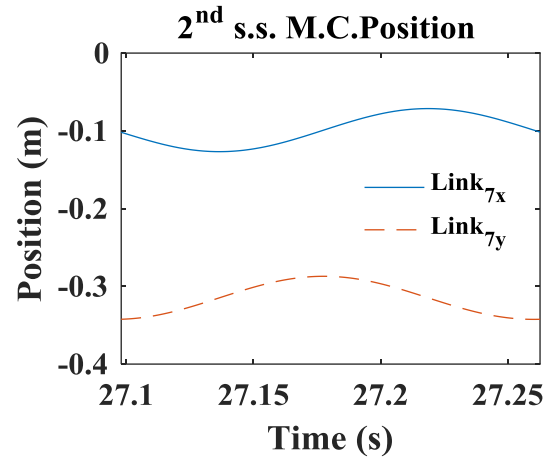


圖 3 - 41 桿 7 第二穩態質心位置

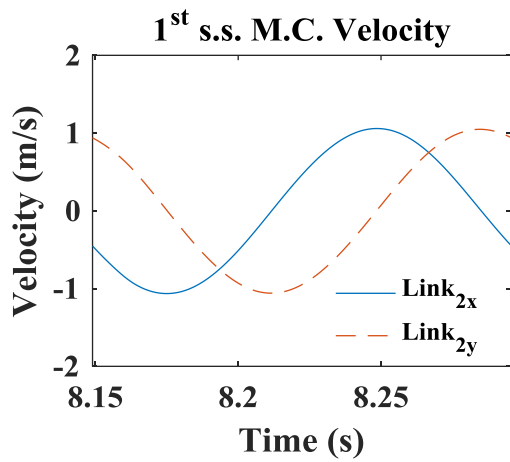


圖 3 - 42 桿 2 第一穩態質心速度

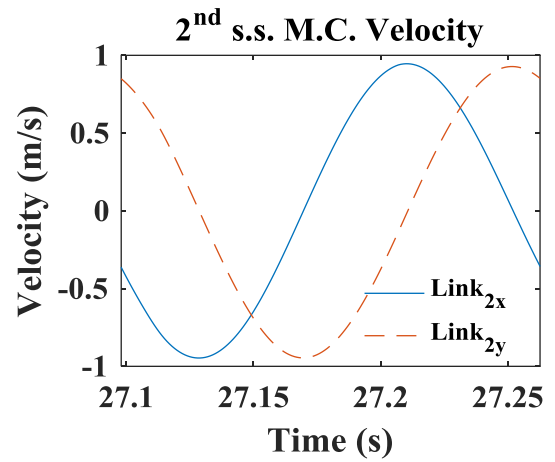


圖 3 - 43 桿 2 第二穩態質心速度

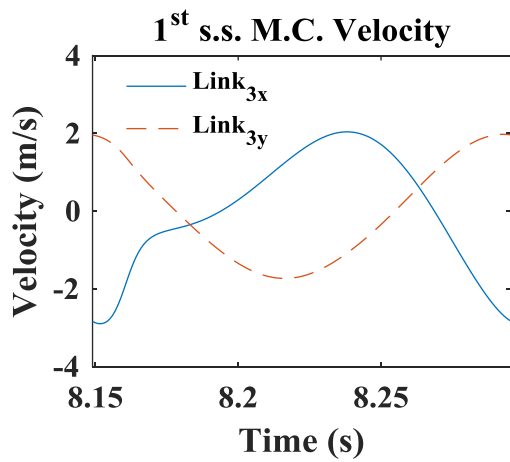


圖 3 - 44 桿 3 第一穩態質心速度

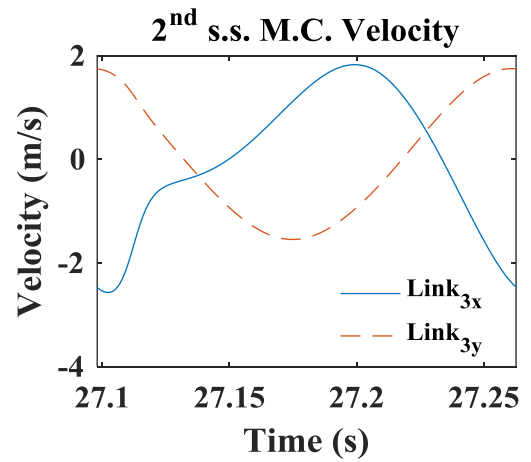


圖 3 - 45 桿 3 第二穩態質心速度

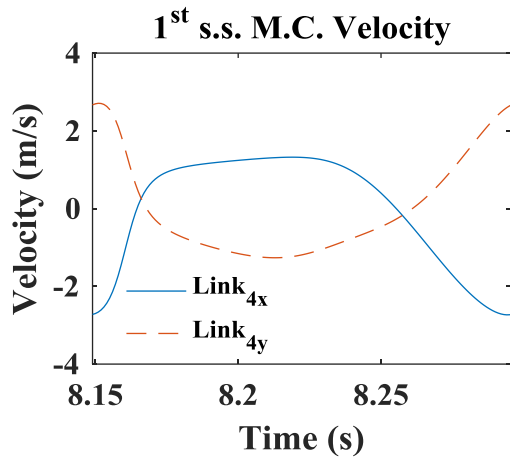


圖 3 - 46 桿 4 第一穩態質心速度

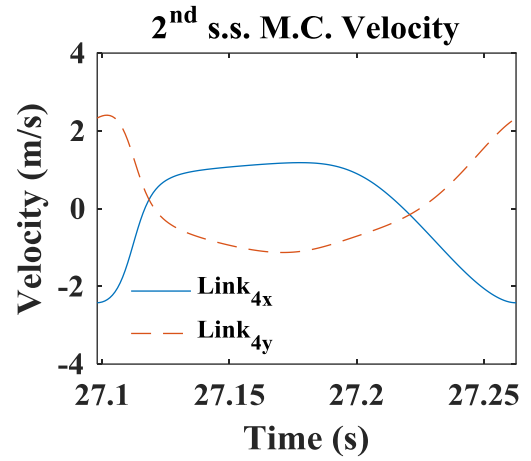


圖 3 - 47 桿 4 第二穩態質心速度

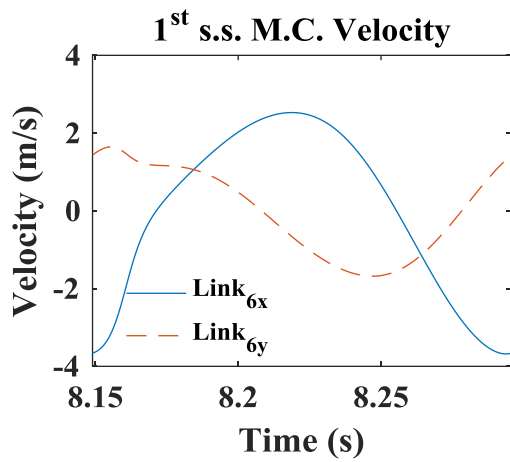


圖 3 - 48 桿 6 第一穩態質心速度

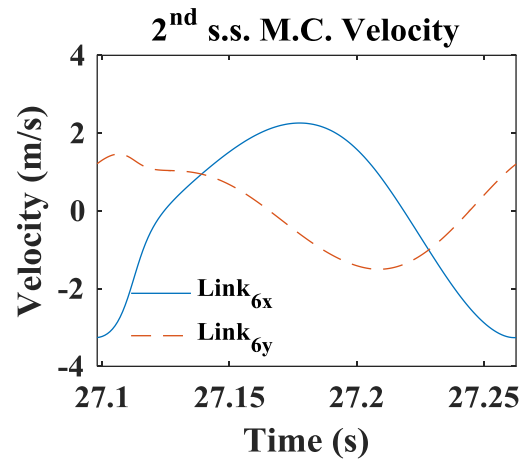


圖 3 - 49 桿 6 第二穩態質心速度

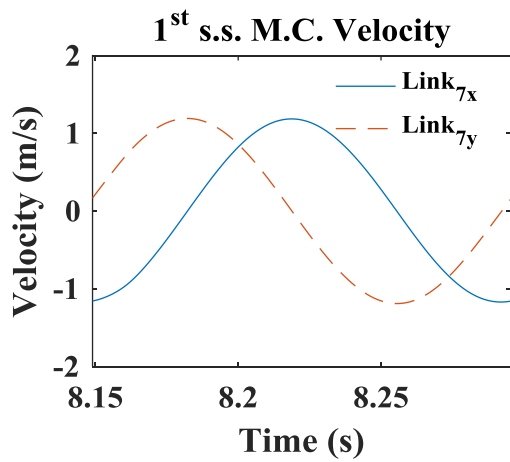


圖 3 - 50 桿 7 第一穩態質心速度

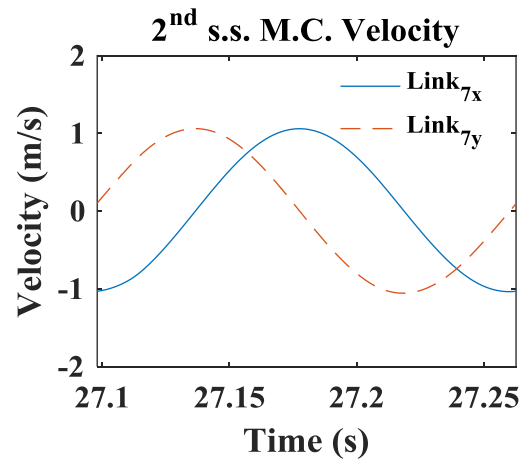


圖 3 - 51 桿 7 第二穩態質心速度

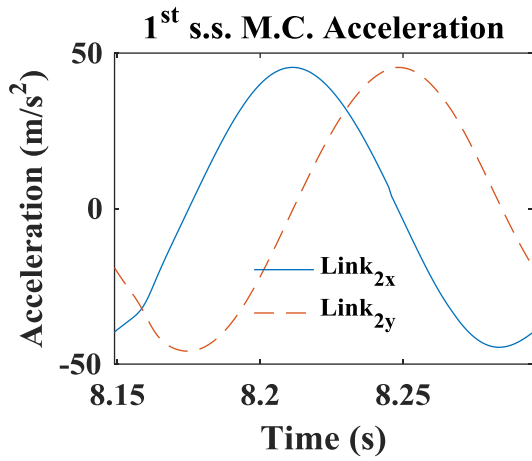


圖 3-52 桿 2 第一穩態質心加速度

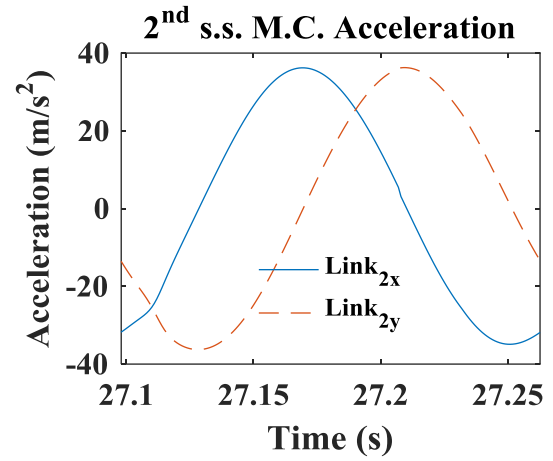


圖 3-53 桿 2 第二穩態質心加速度

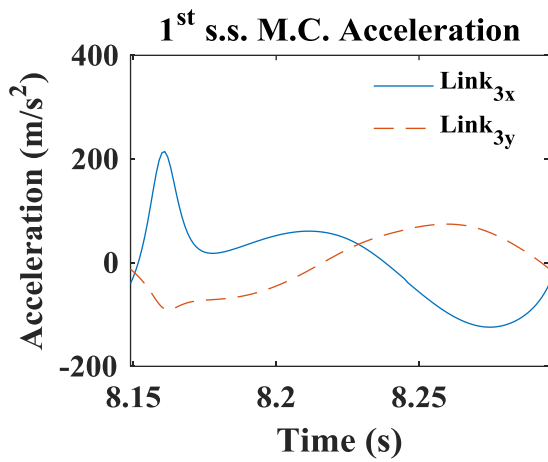


圖 3-54 桿 3 第一穩態質心加速度

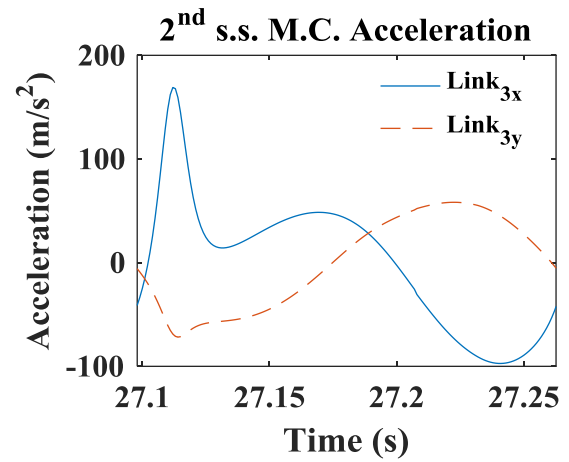


圖 3-55 桿 3 第二穩態質心加速度

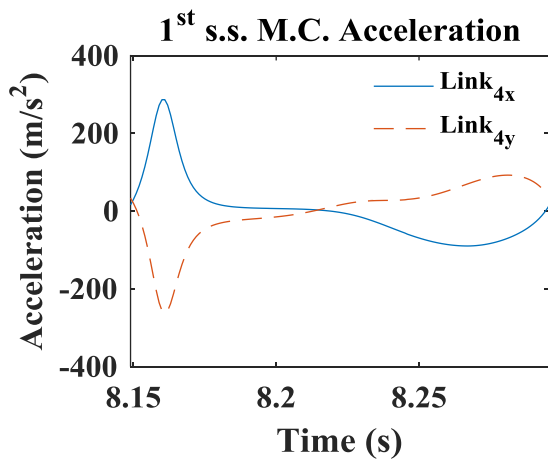


圖 3-56 桿 4 第一穩態質心加速度

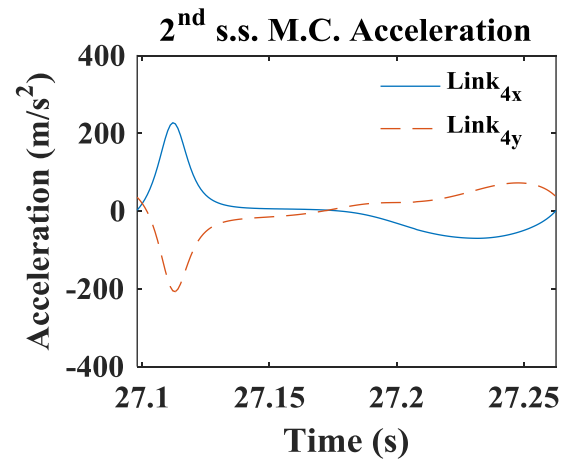


圖 3-57 桿 4 第二穩態質心加速度

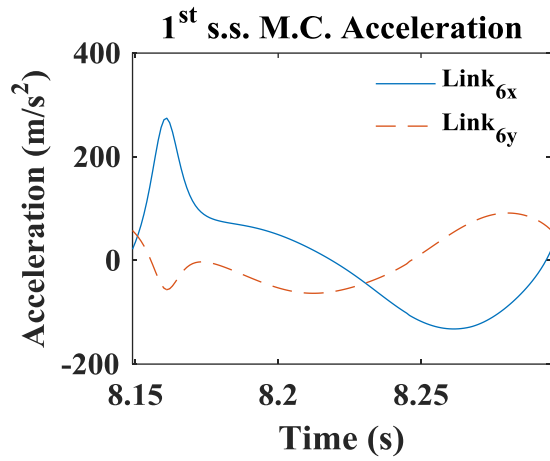


圖 3 - 58 桿 6 第一穩態質心加速度

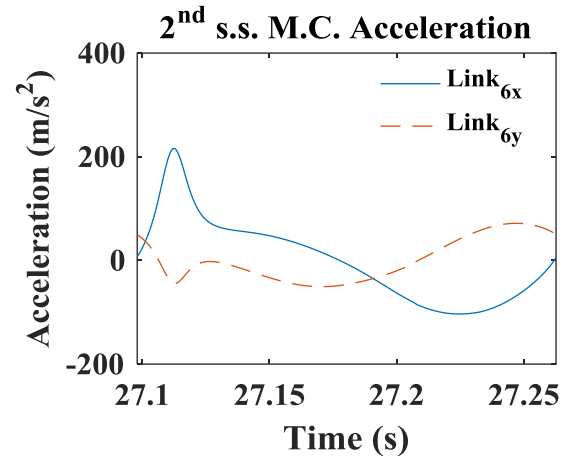


圖 3 - 59 桿 6 第二穩態質心加速度

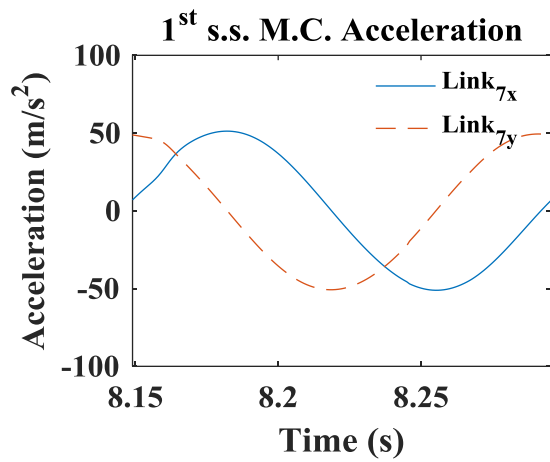


圖 3 - 60 桿 7 第一穩態質心加速度

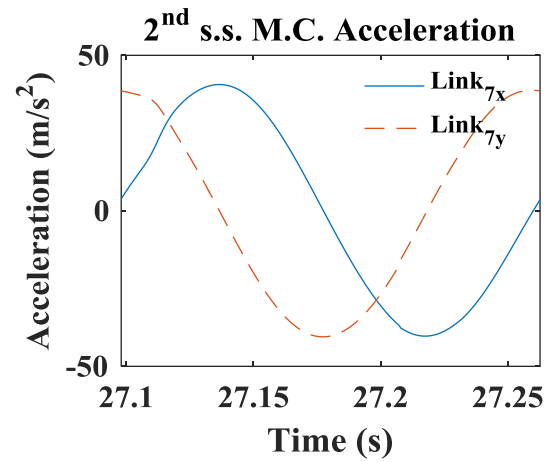


圖 3 - 61 桿 7 第二穩態質心加速度

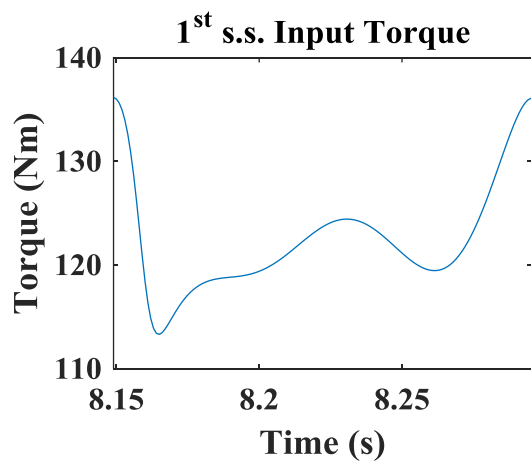


圖 3 - 62 T 第一穩態輸入扭矩

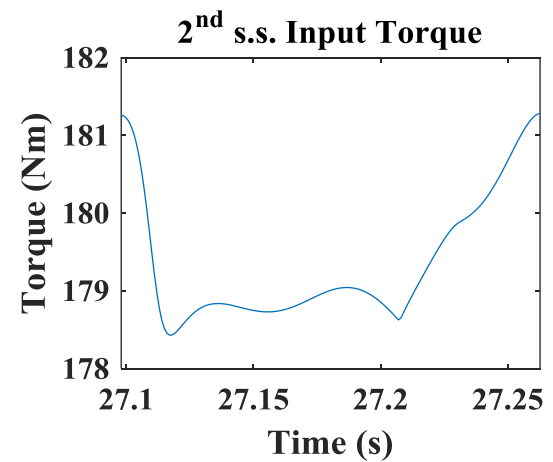


圖 3 - 63 T 第二穩態輸入扭矩

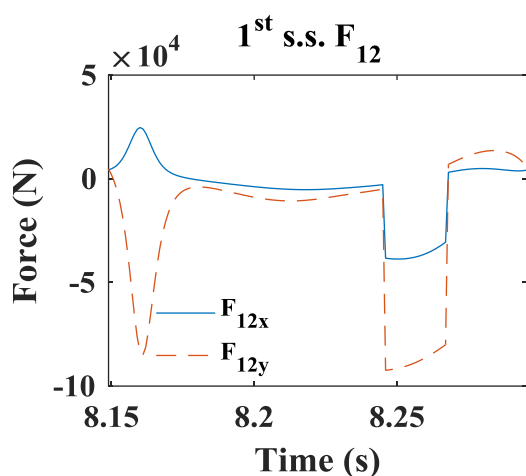


圖 3 - 64 F_{12} 第一穩態接頭力

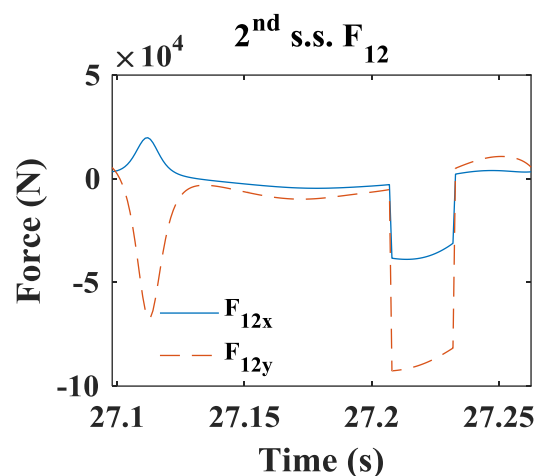


圖 3 - 65 F_{12} 第二穩態接頭力

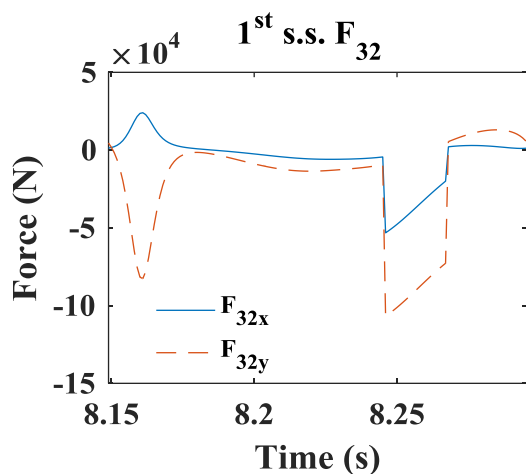


圖 3 - 66 F_{32} 第一穩態接頭力

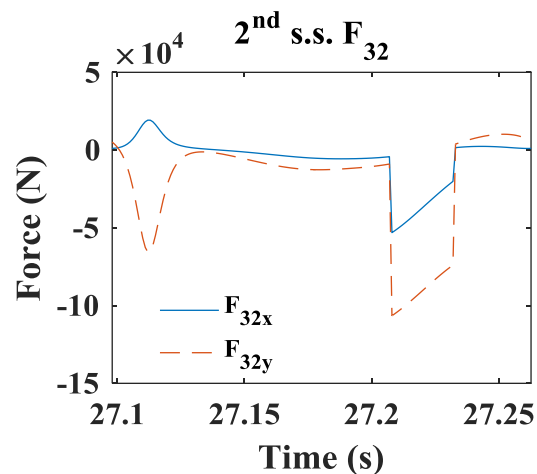


圖 3 - 67 F_{32} 第二穩態接頭力

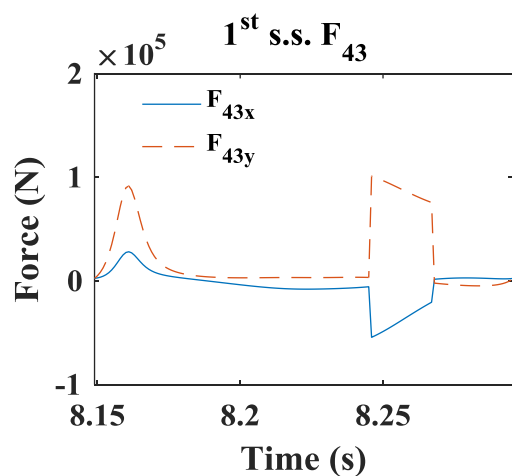


圖 3 - 68 F_{43} 第一穩態接頭力

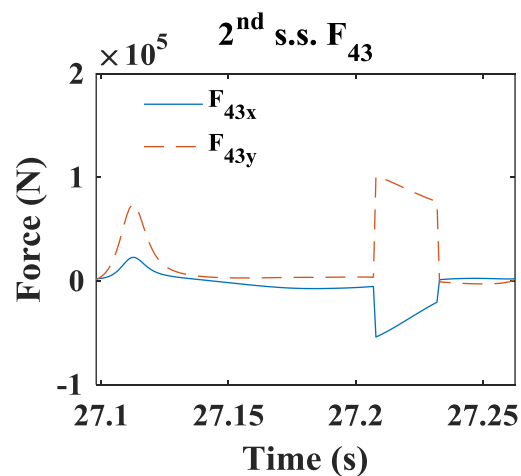


圖 3 - 69 F_{43} 第二穩態接頭力

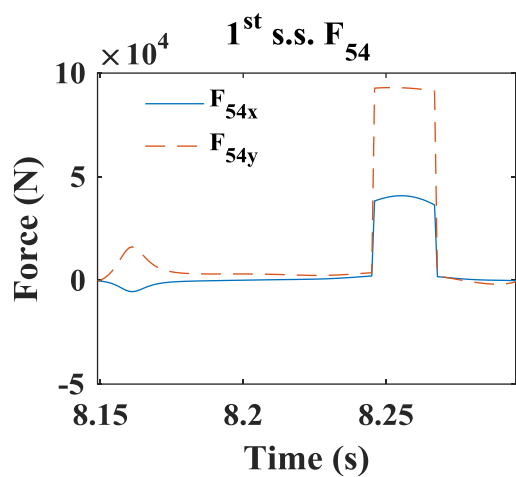


圖 3 - 70 F_{54} 第一穩態接頭力

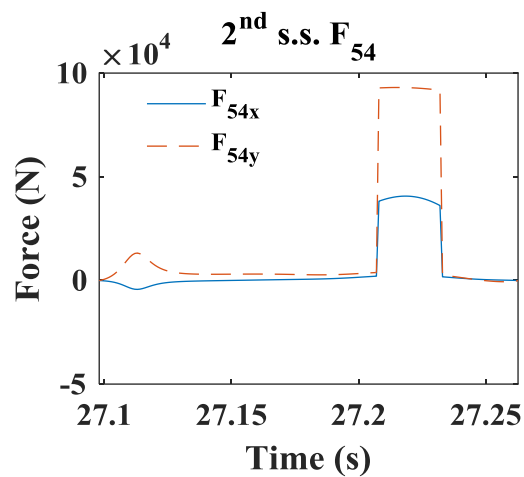


圖 3 - 71 F_{54} 第二穩態接頭力

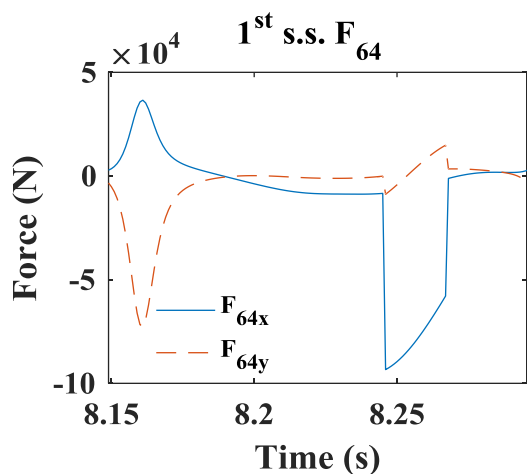


圖 3 - 72 F_{64} 第一穩態接頭力

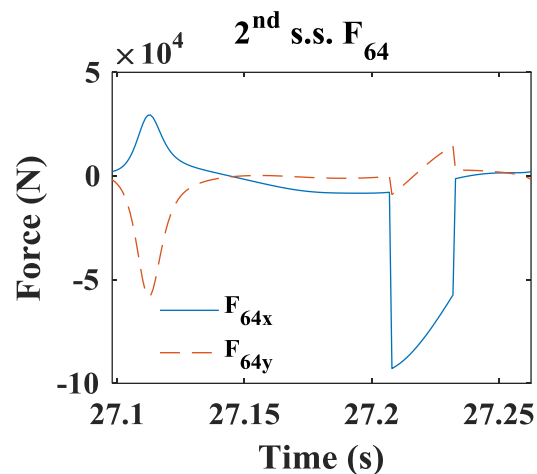


圖 3 - 73 F_{64} 第二穩態接頭力

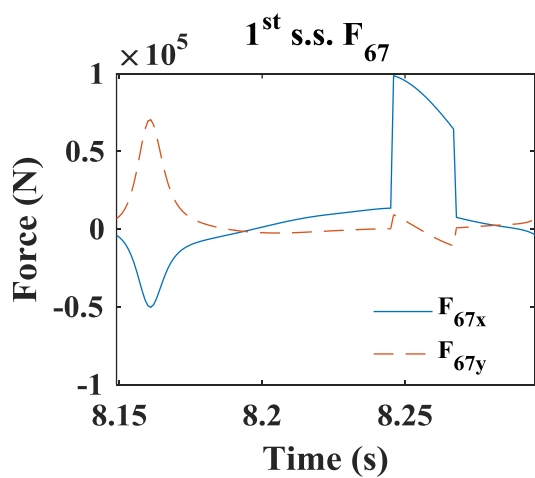


圖 3 - 74 F_{67} 第一穩態接頭力

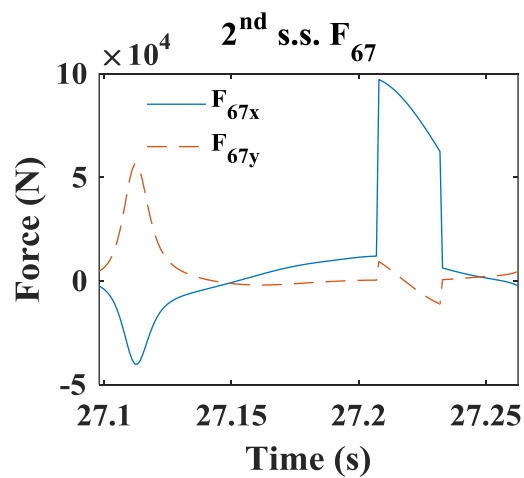


圖 3 - 75 F_{67} 第二穩態接頭力

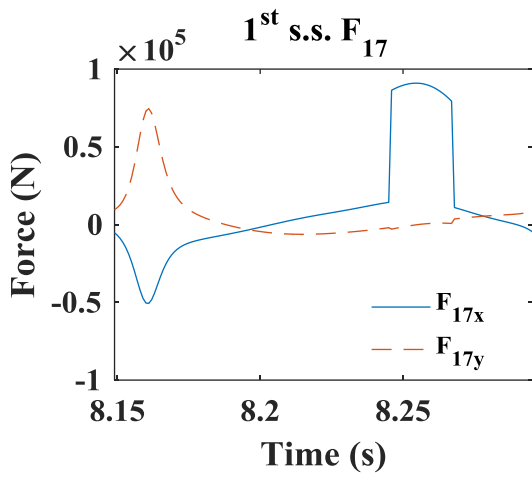


圖 3 - 76 F_{17} 第一穩態接頭力

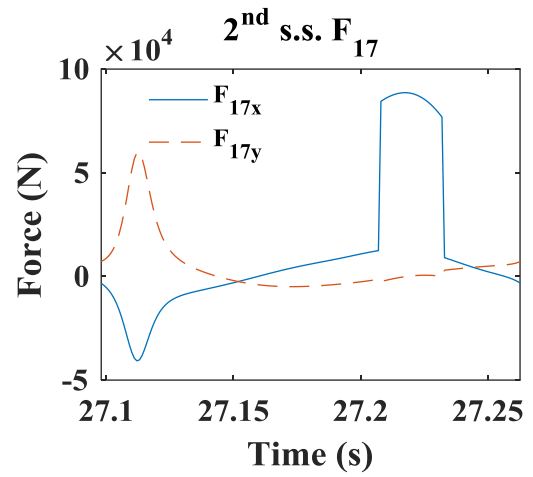


圖 3 - 77 F_{17} 第二穩態接頭力

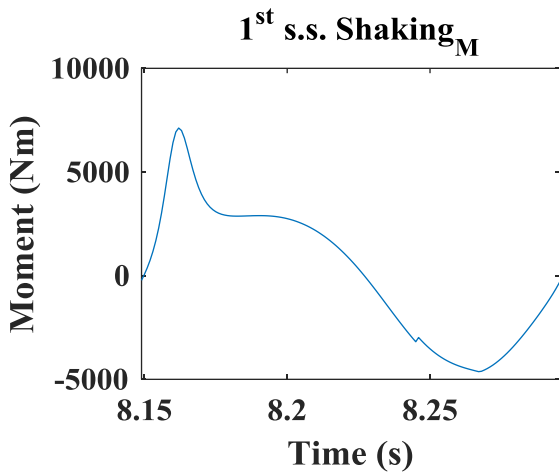


圖 3 - 78 第一穩態搖撼力力矩

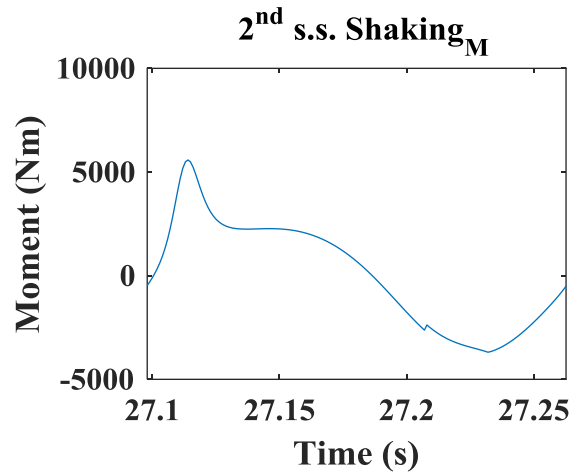


圖 3 - 79 第二穩態搖撼力力矩

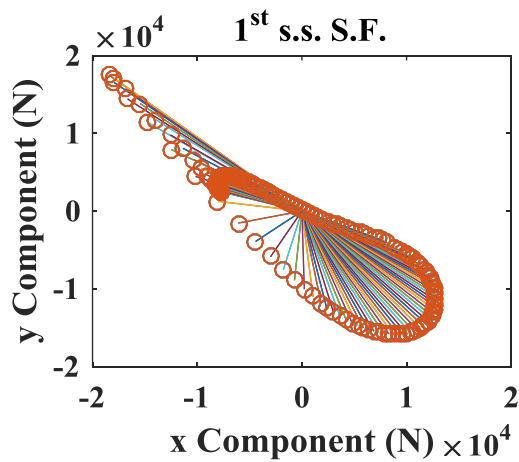


圖 3 - 80 第一穩態搖撼力分力

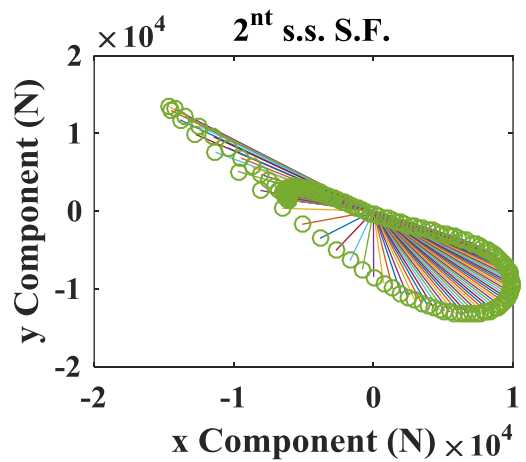


圖 3 - 81 第二穩態搖撼力分力

3.3 馬達係數為 0.0054 之動態特性分析

本節將以馬達係數為 0.0054 之馬達作輸入端的狀態下，探討加入飛輪急煞車之後，等校慣性矩、輸入轉速之時間響應、各桿件在第一及第二穩態時的運動特性、輸入扭矩、受力情形與對機架造成之搖撼力與搖撼力矩。

2 nd ss ω_2 (rad/s)	飛輪慣性矩	煞車扭矩
43.9396 rad/s	1.9604 kg-m ²	-2277.3 N-m

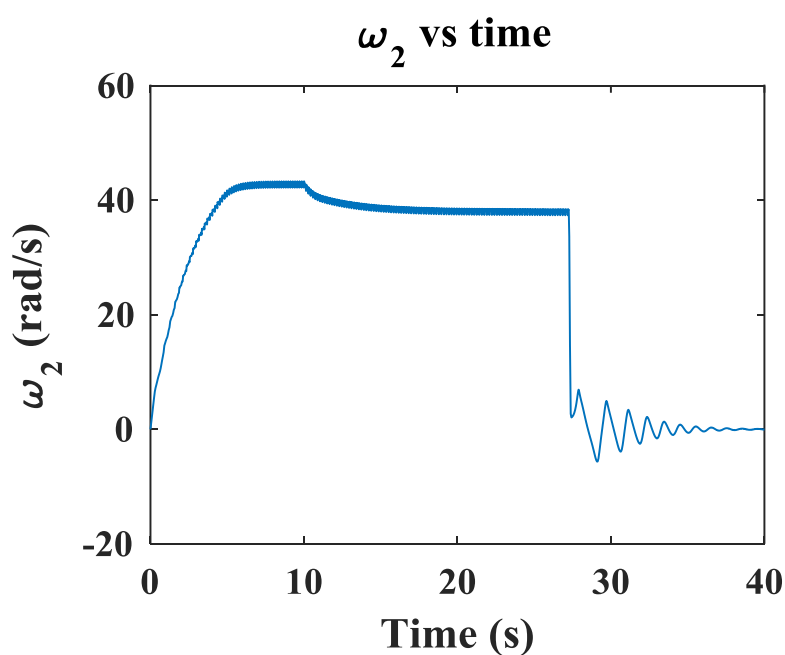


圖 3 - 82 加入煞車後之輸入轉速圖

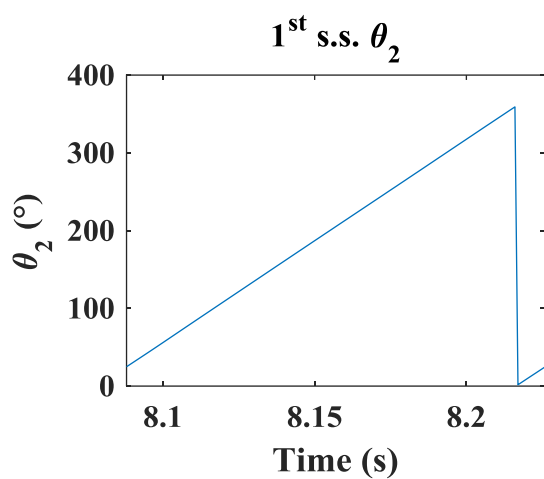


圖 3 - 83 桿 2 第一穩態角位移

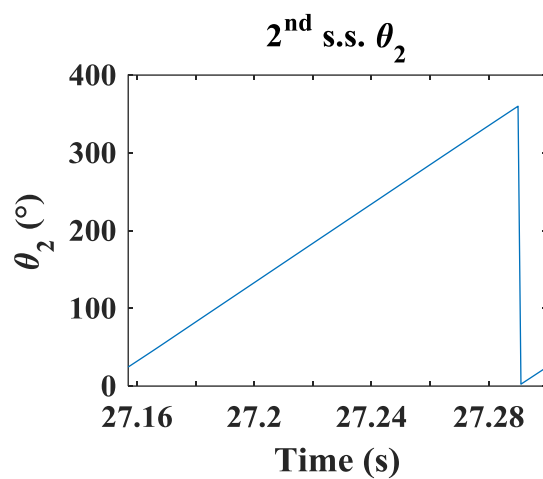


圖 3 - 84 桿 2 第二穩態角位移

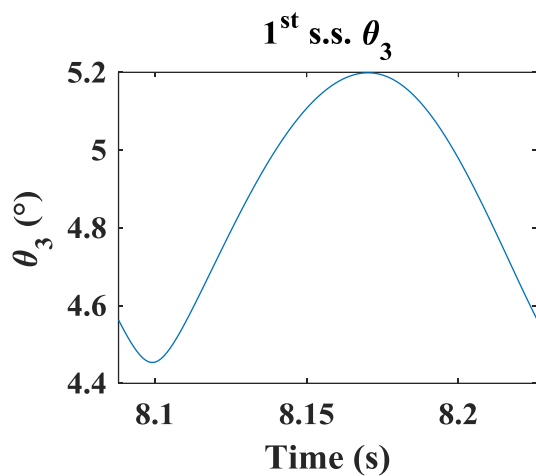


圖 3 - 85 桿 3 第一穩態角位移

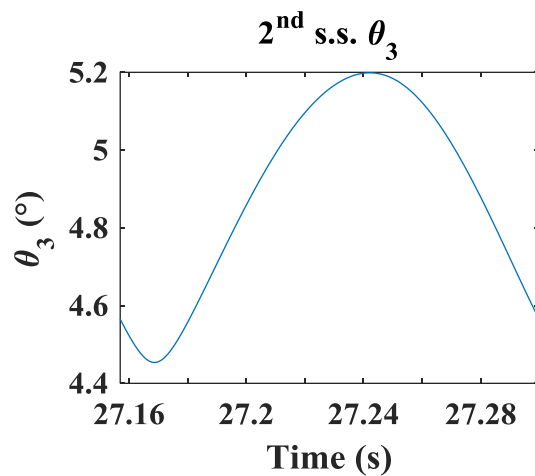


圖 3 - 86 桿 3 第二穩態角位移

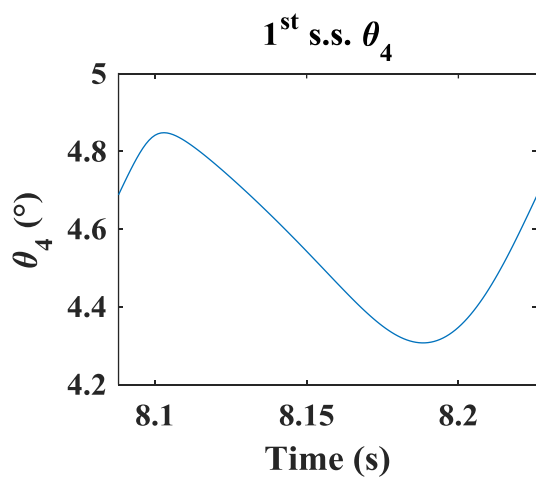


圖 3 - 87 桿 4 第一穩態角位移

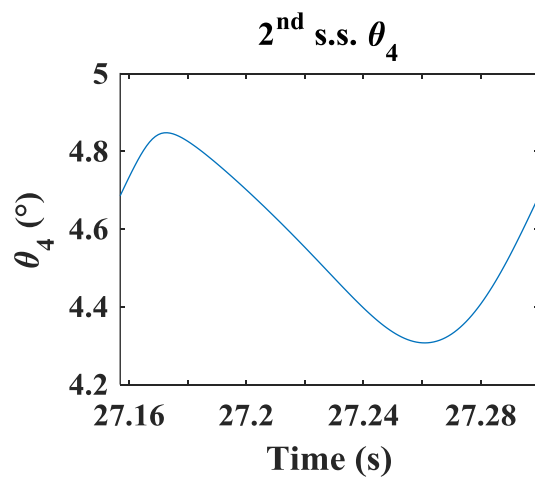


圖 3 - 88 桿 4 第二穩態角位移

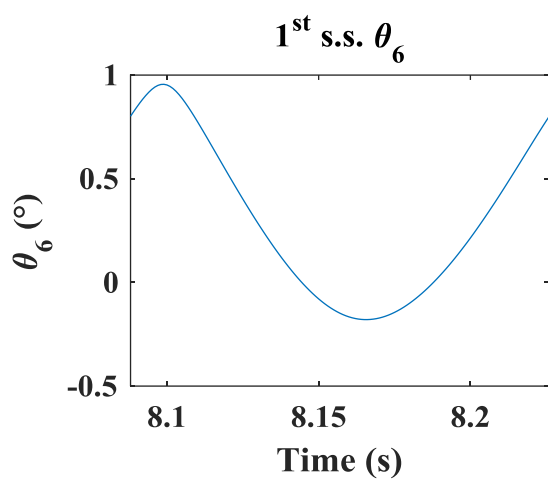


圖 3 - 89 桿 6 第一穩態角位移

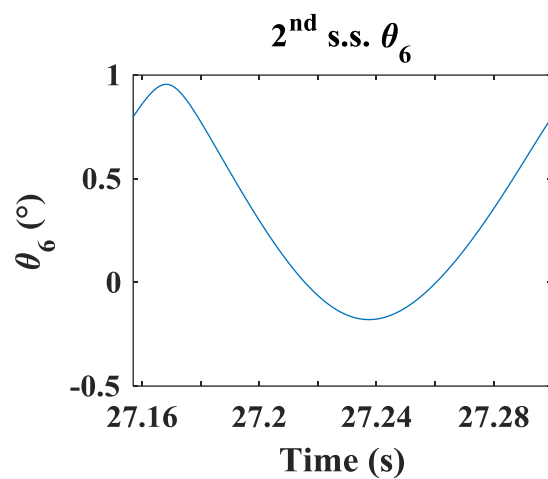


圖 3 - 90 桿 6 第二穩態角位移

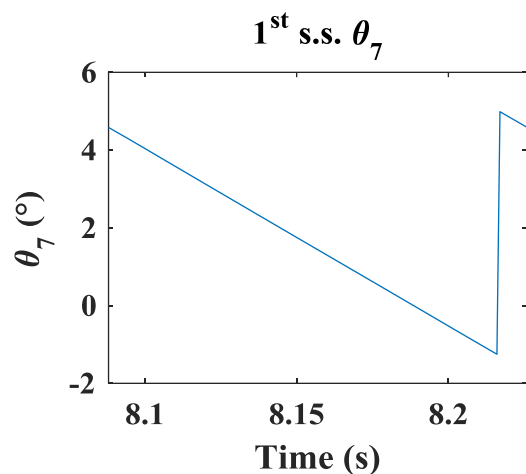


圖 3 - 91 桿 7 第一穩態角位移

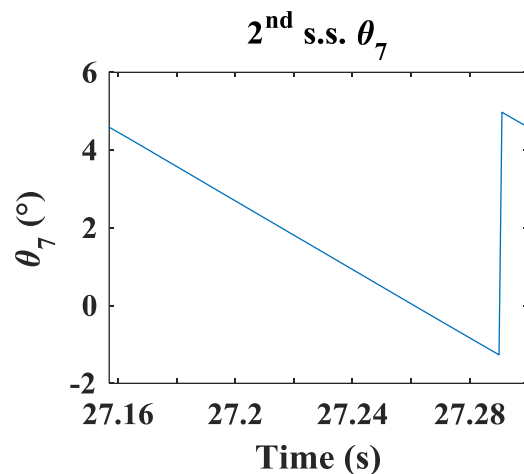


圖 3 - 92 桿 7 第二穩態角位移

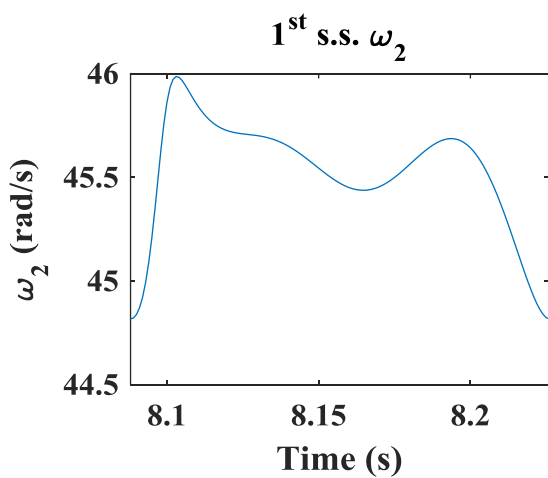


圖 3 - 93 桿 2 第一穩態角速度

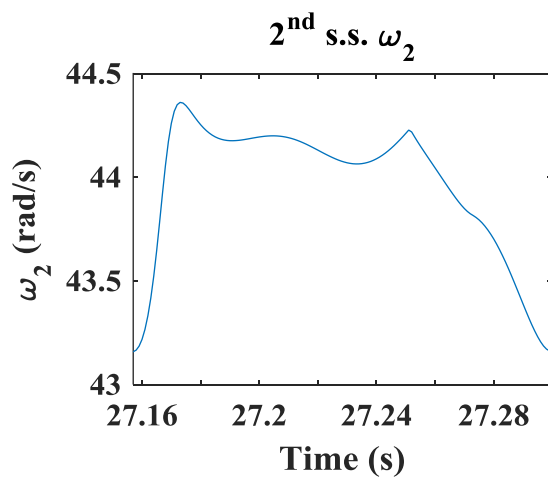


圖 3 - 94 桿 2 第二穩態角速度

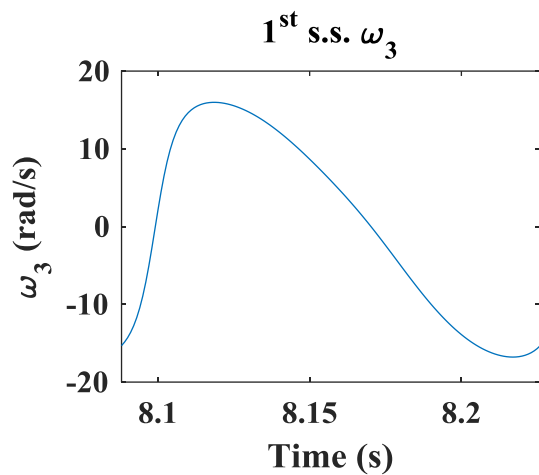


圖 3 - 95 桿 3 第一穩態角速度

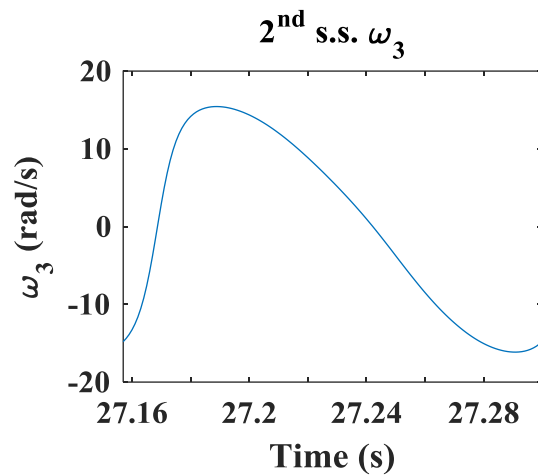


圖 3 - 96 桿 3 第二穩態角速度

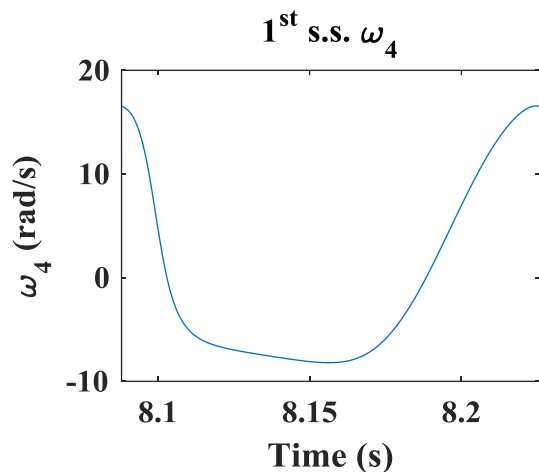


圖 3 - 97 桿 4 第一穩態角速度

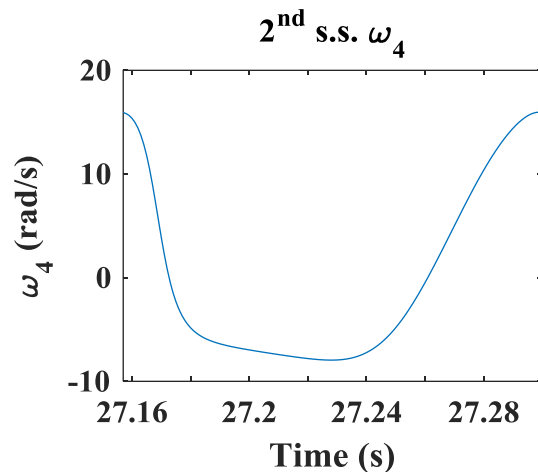


圖 3 - 98 桿 4 第二穩態角速度

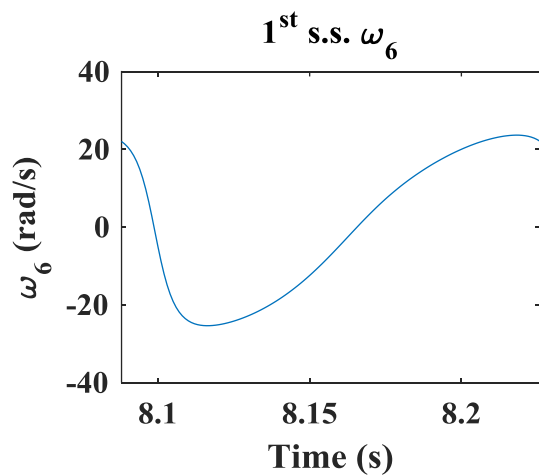


圖 3 - 99 桿 6 第一穩態角速度

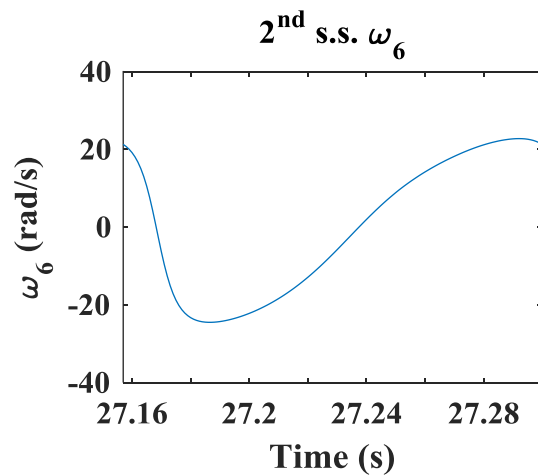


圖 3 - 100 桿 6 第二穩態角速度

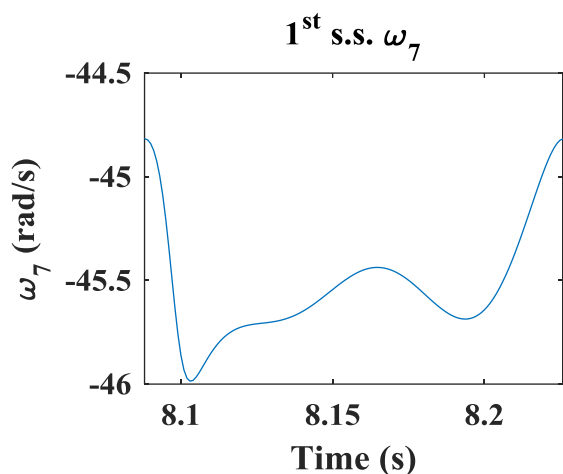


圖 3 - 101 桿 7 第一穩態角速度

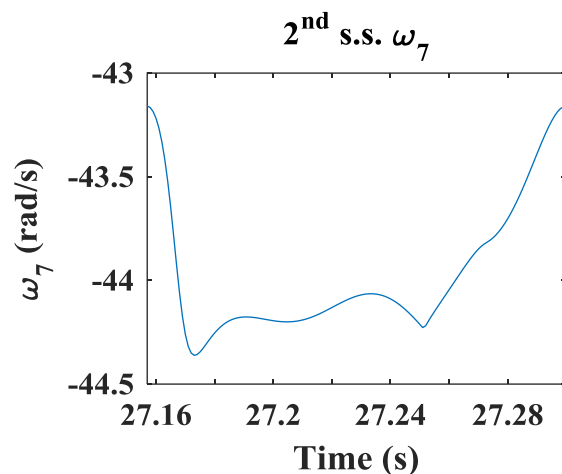


圖 3 - 102 桿 7 第二穩態角速度

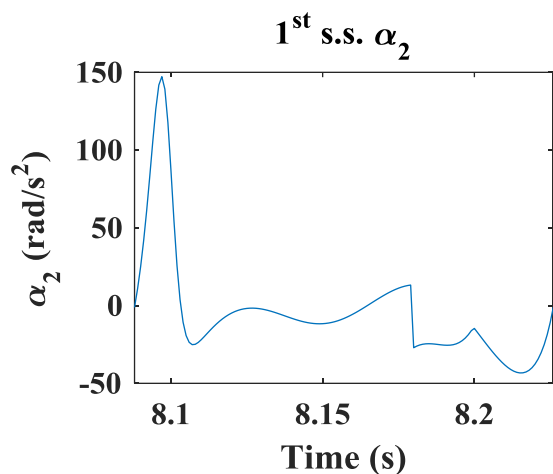


圖 3 - 103 桿 2 第一穩態角加速度

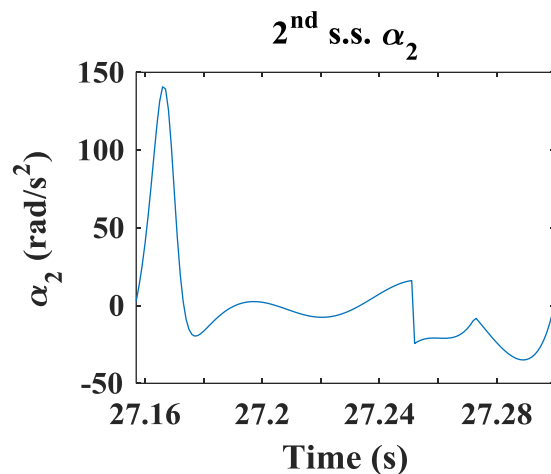


圖 3 - 104 桿 2 第二穩態角加速度

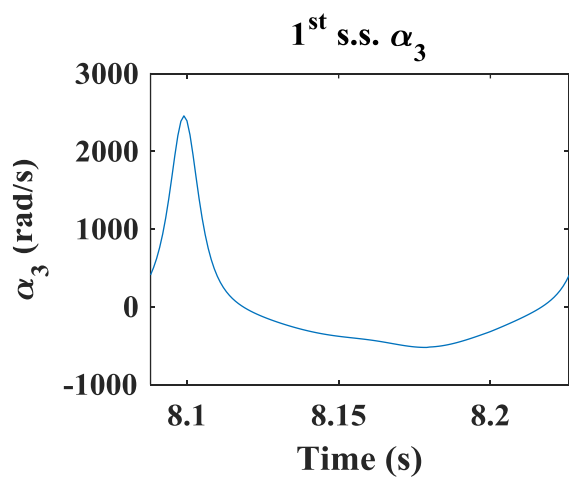


圖 3 - 105 桿 3 第一穩態角加速度

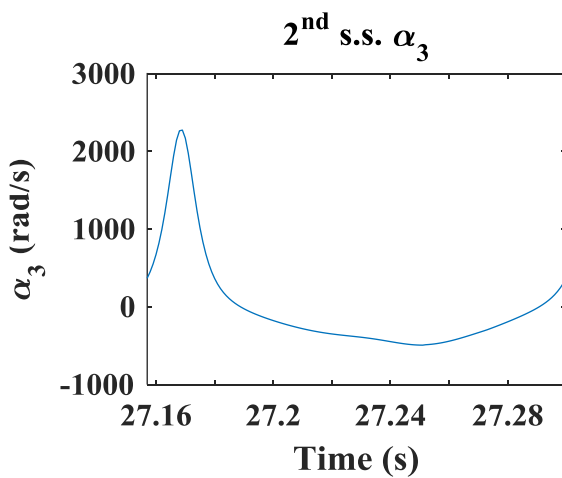


圖 3 - 106 桿 3 第二穩態角加速度

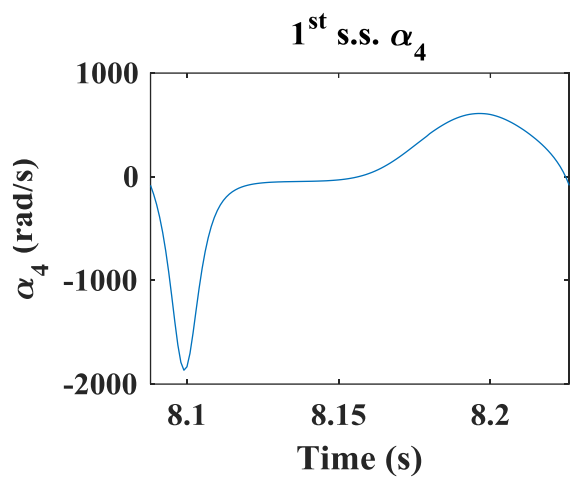


圖 3 - 107 桿 4 第一穩態角加速度

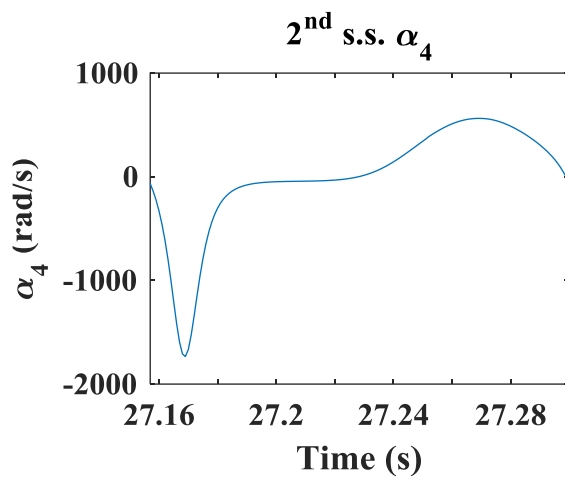


圖 3 - 108 桿 4 第二穩態角加速度

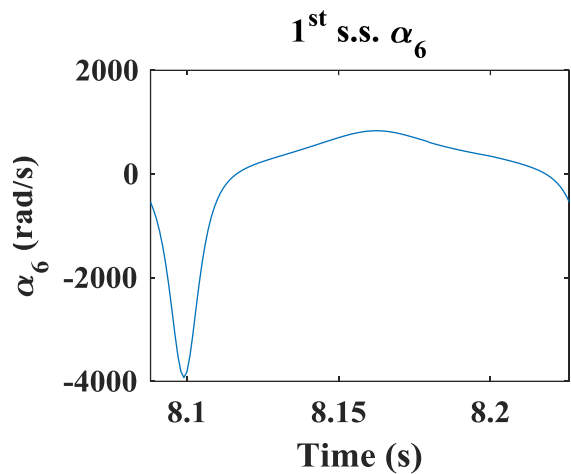


圖 3 - 109 桿 6 第一穩態角加速度

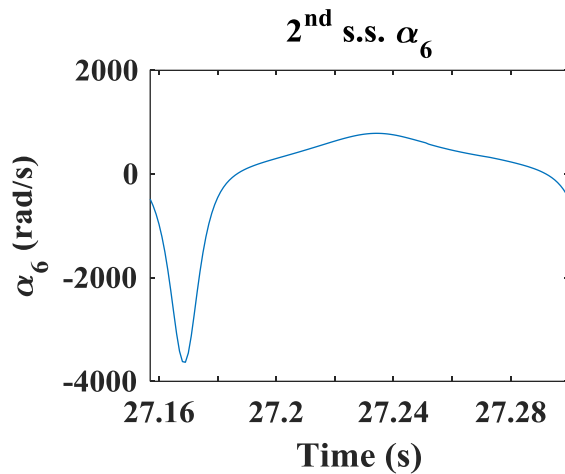


圖 3 - 110 桿 6 第二穩態角加速度

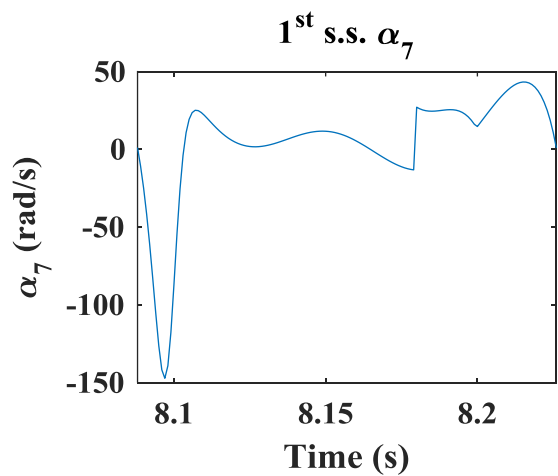


圖 3 - 111 桿 7 第一穩態角加速度

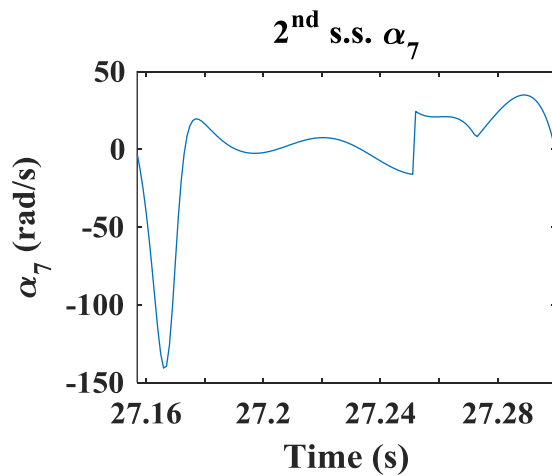


圖 3 - 112 桿 7 第二穩態角加速度

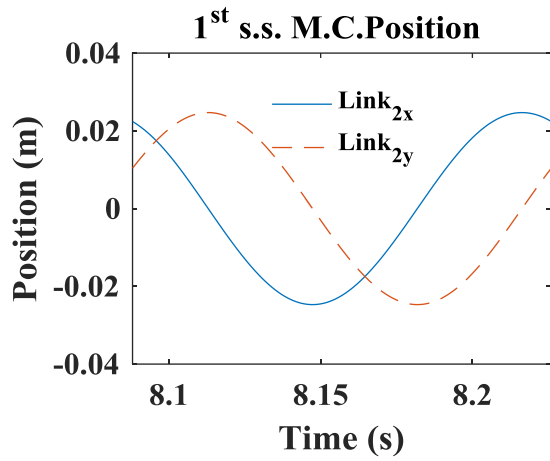


圖 3 - 113 桿 2 第一穩態質心位置

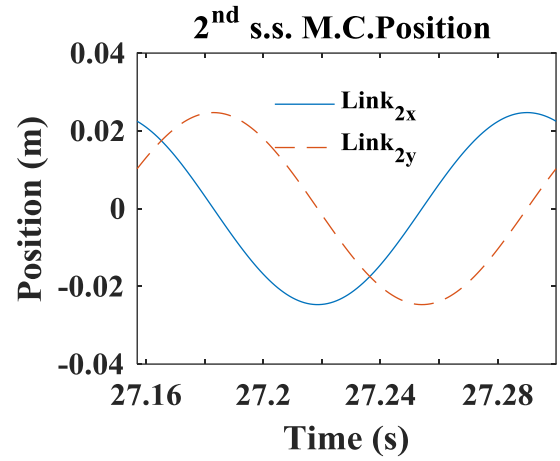


圖 3 - 114 桿 2 第二穩態質心位置

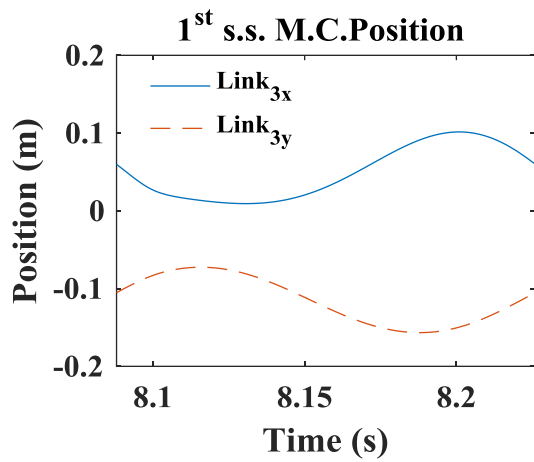


圖 3 - 115 桿 3 第一穩態質心位置

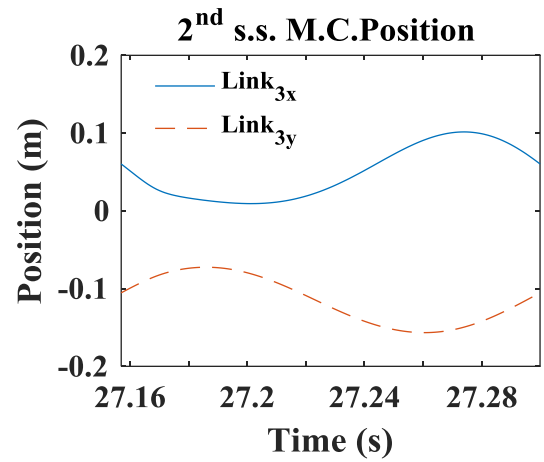


圖 3 - 116 桿 3 第二穩態質心位置

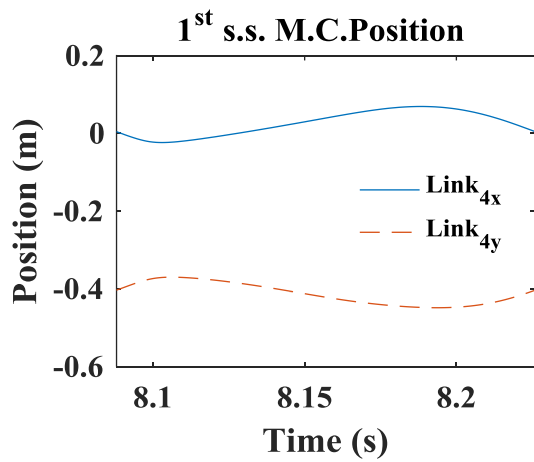


圖 3 - 117 桿 4 第一穩態質心位置

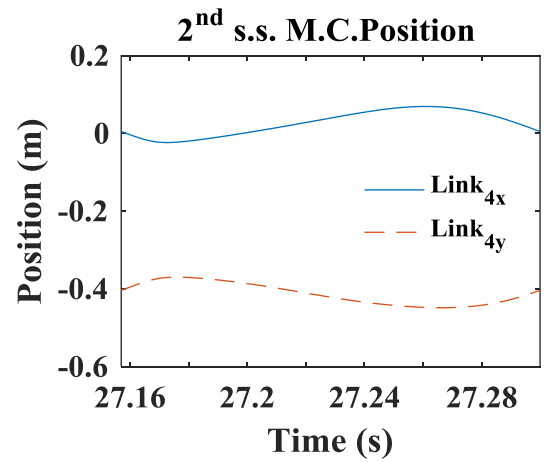


圖 3 - 118 桿 4 第二穩態質心位置

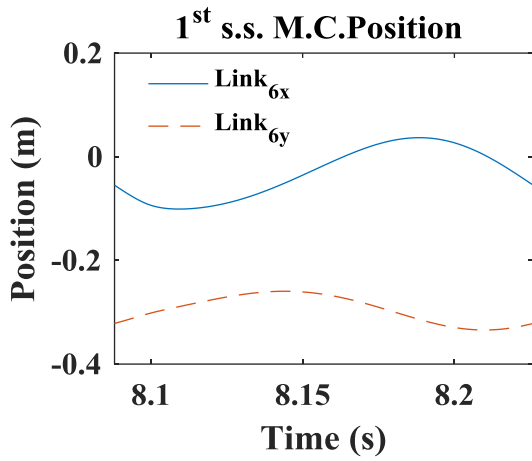


圖 3 - 119 桿 6 第一穩態質心位置

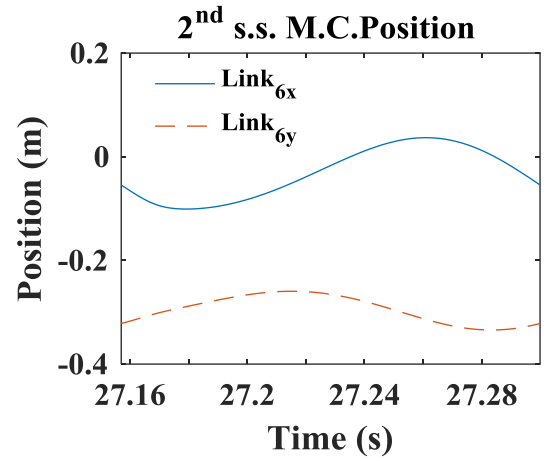


圖 3 - 120 桿 6 第二穩態質心位置

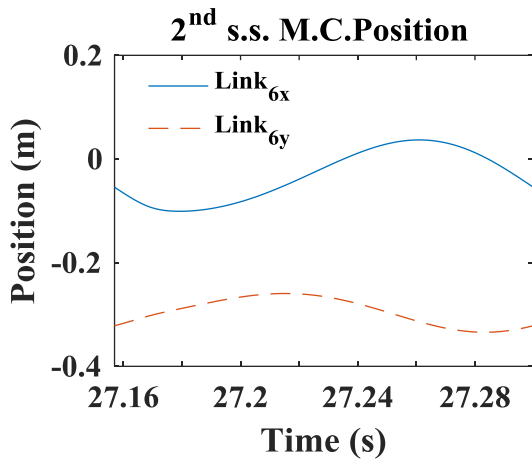


圖 3 - 121 桿 7 第一穩態質心位置

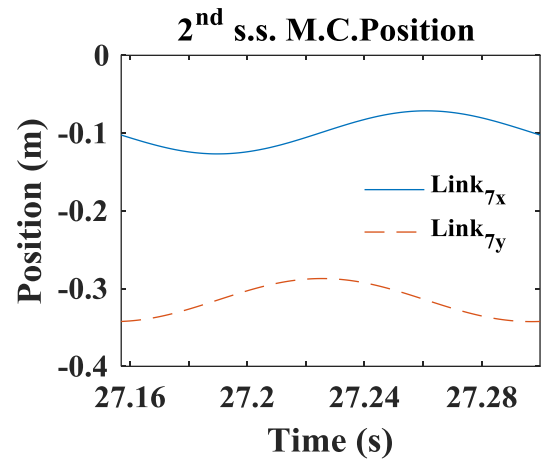


圖 3 - 122 桿 7 第二穩態質心位置

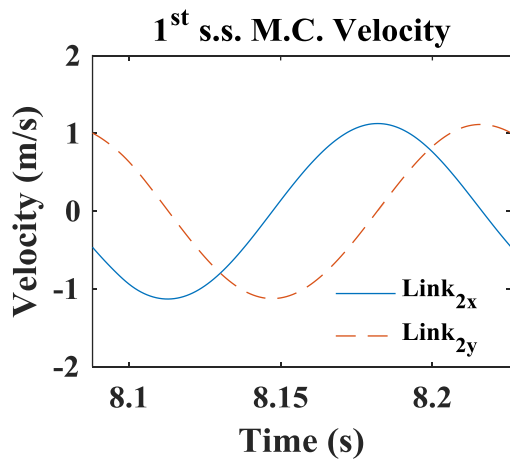


圖 3 - 123 桿 2 第一穩態質心速度

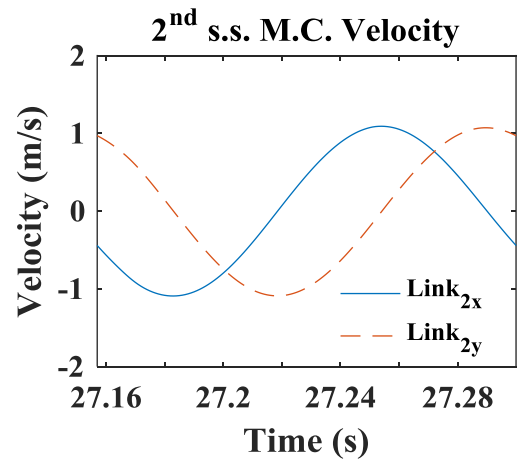


圖 3 - 124 桿 2 第二穩態質心速度

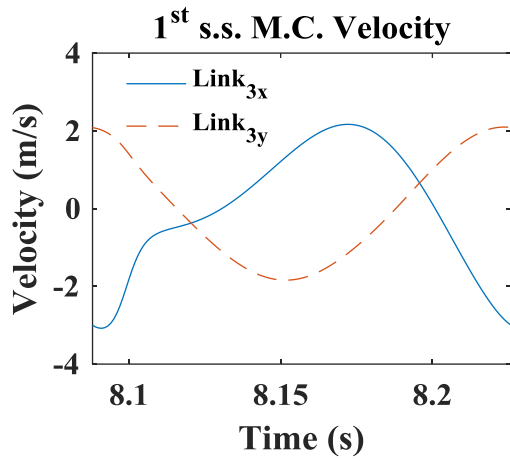


圖 3 - 125 桿 3 第一穩態質心速度

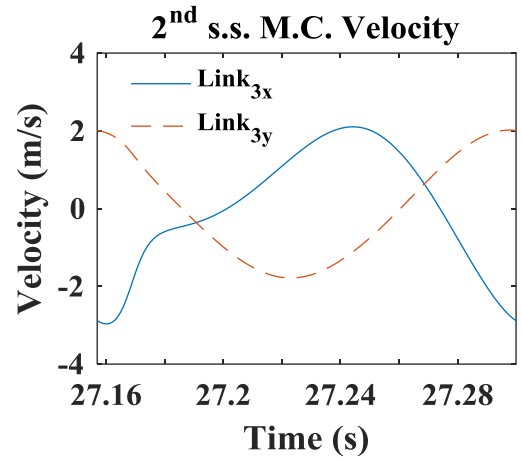


圖 3 - 126 桿 3 第二穩態質心速度

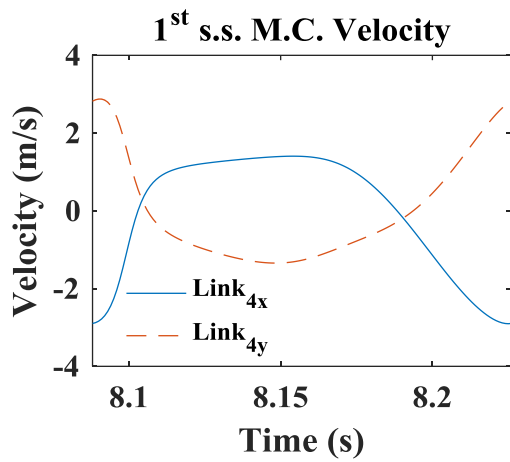


圖 3 - 127 桿 4 第一穩態質心速度

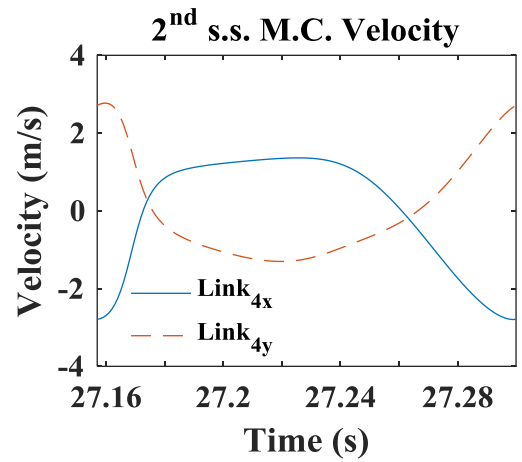


圖 3 - 128 桿 4 第二穩態質心速度

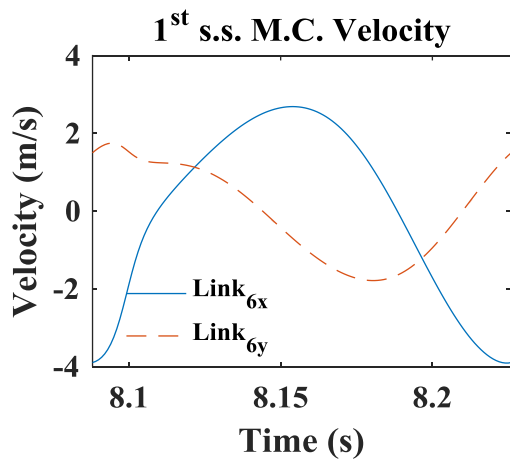


圖 3 - 129 桿 6 第一穩態質心速度

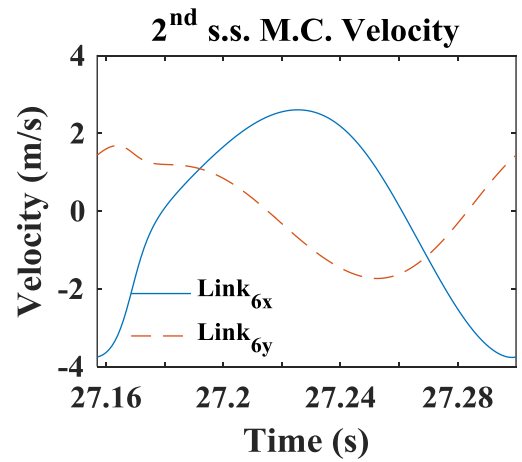


圖 3 - 130 桿 6 第二穩態質心速度

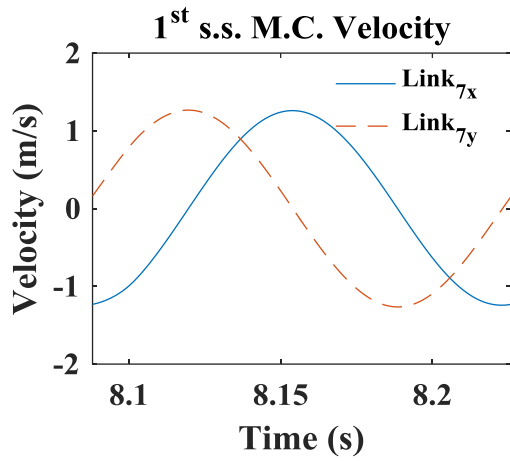


圖 3 - 131 桿 7 第一穩態質心速度

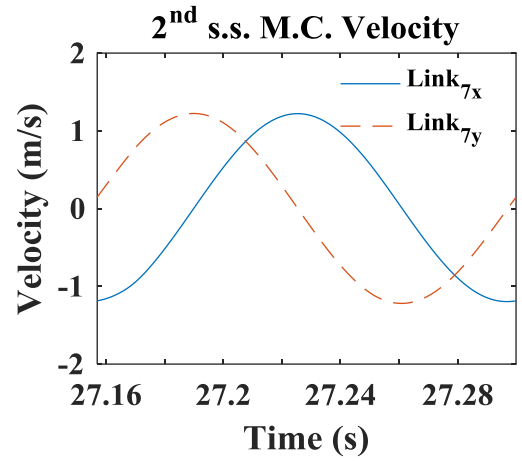


圖 3 - 132 桿 7 第二穩態質心速度

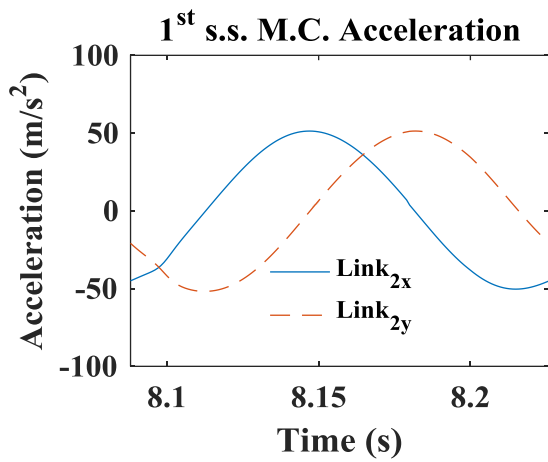


圖 3 - 133 桿 2 第一穩態質心加速度

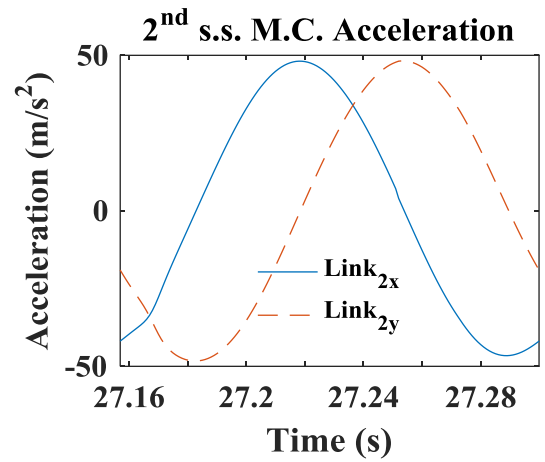


圖 3 - 134 桿 2 第二穩態質心加速度

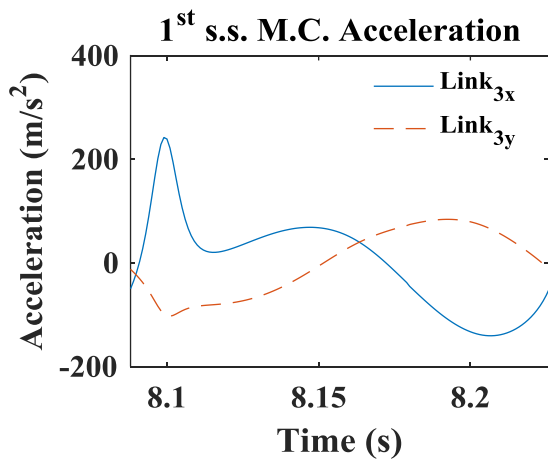


圖 3 - 135 桿 3 第一穩態質心加速度

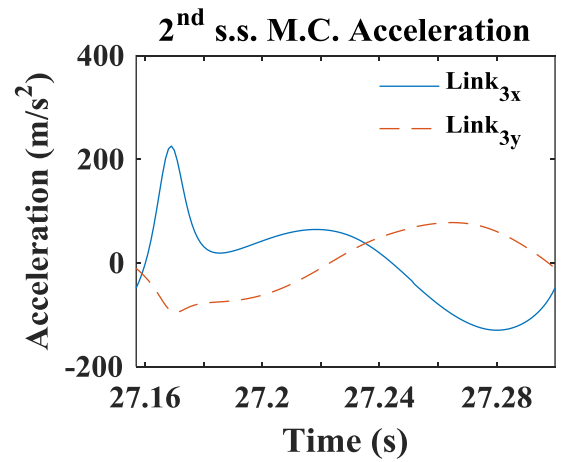


圖 3 - 136 桿 3 第二穩態質心加速度

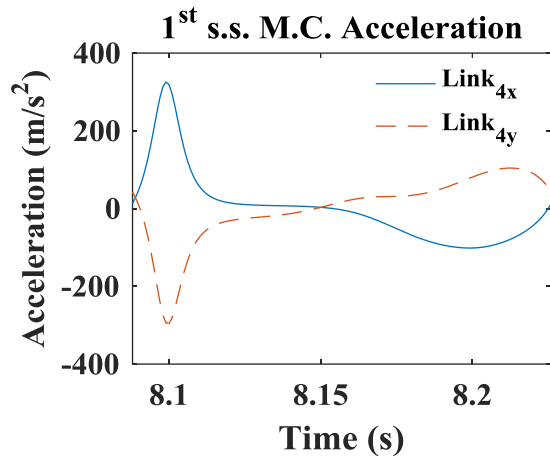


圖 3 - 137 桿 4 第一穩態質心加速度

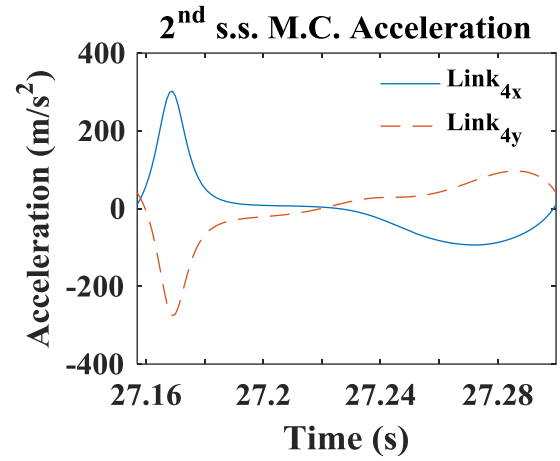


圖 3 - 138 桿 4 第二穩態質心加速度

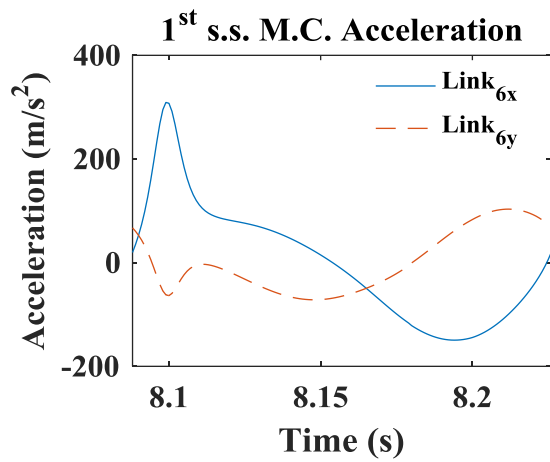


圖 3 - 139 桿 6 第一穩態質心加速度

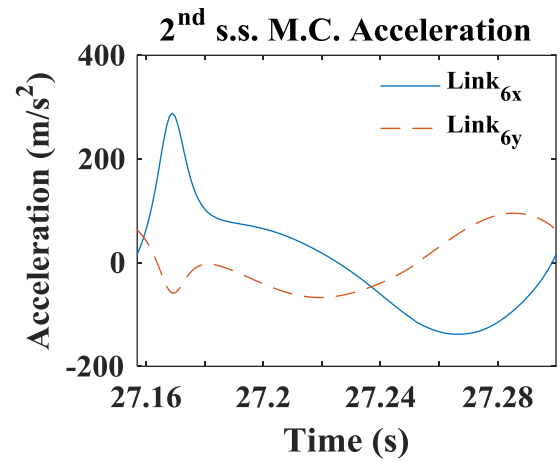


圖 3 - 140 桿 6 第二穩態質心加速度

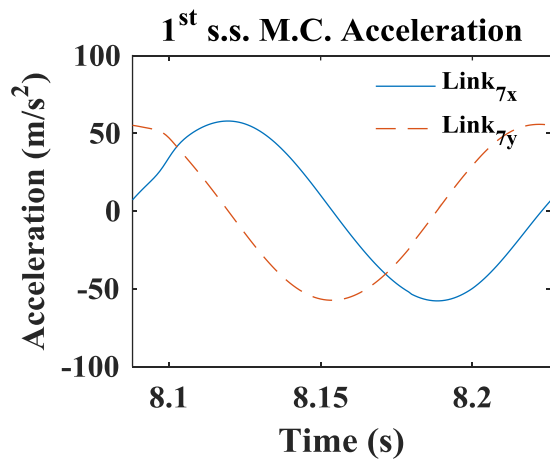


圖 3 - 141 桿 7 第一穩態質心加速度

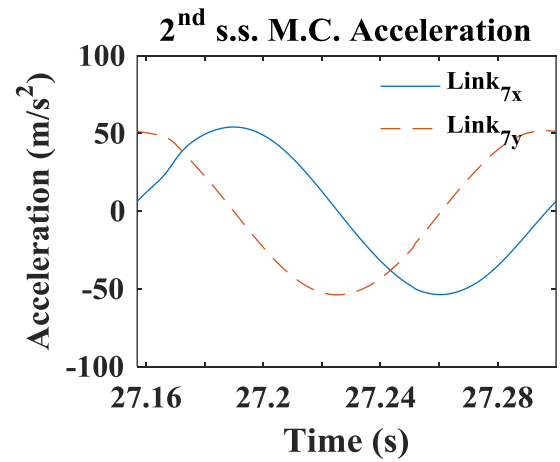


圖 3 - 142 桿 7 第二穩態質心加速度

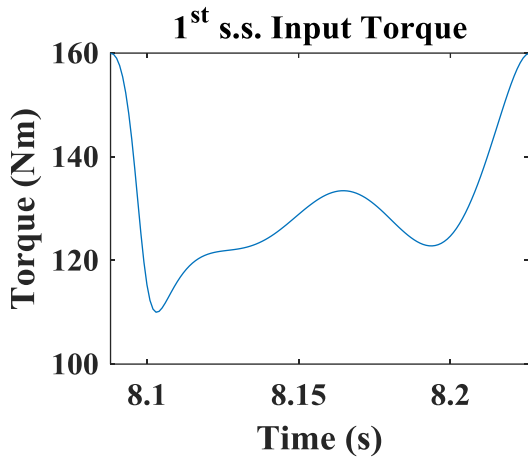


圖 3 - 143 T 第一穩態輸入扭矩

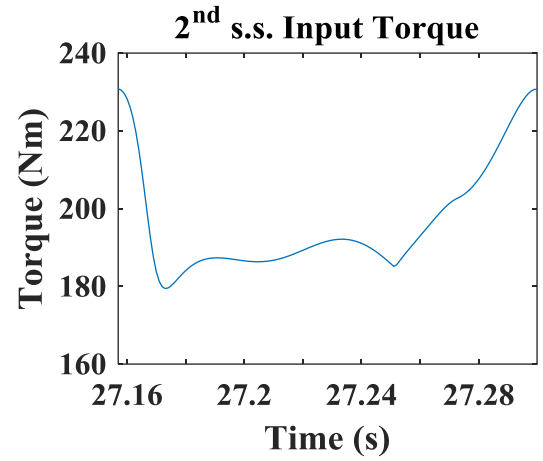


圖 3 - 144 T 第二穩態輸入扭矩

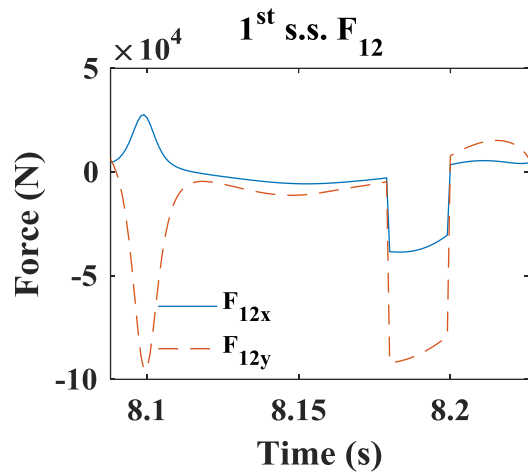


圖 3 - 145 F_{12} 第一穩態接頭力

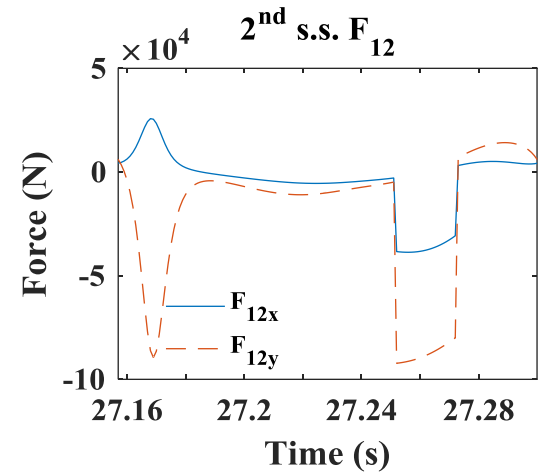


圖 3 - 146 F_{12} 第二穩態接頭力

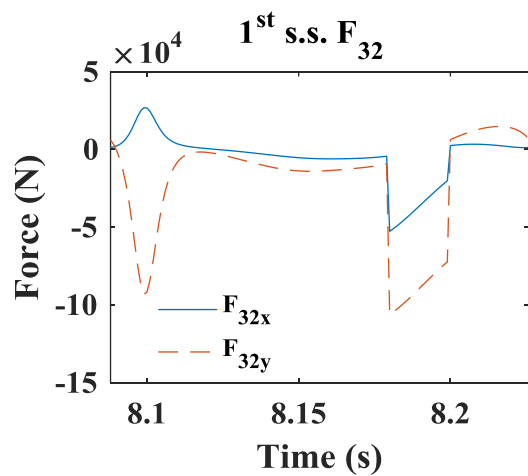


圖 3 - 147 F_{32} 第一穩態接頭力

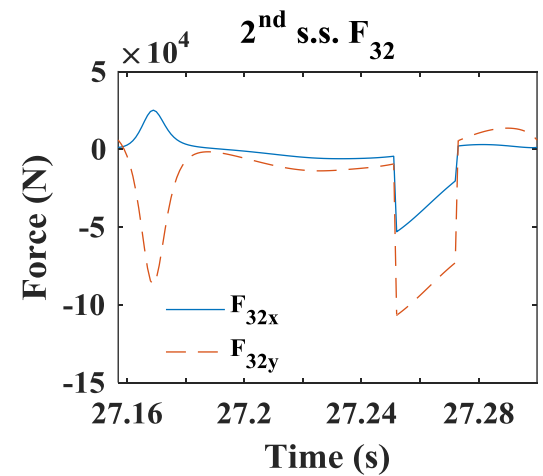


圖 3 - 148 F_{32} 第二穩態接頭力

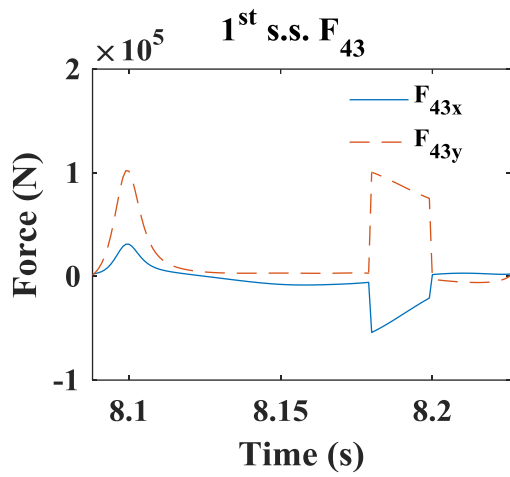


圖 3 - 149 F_{43} 第一穩態接頭力

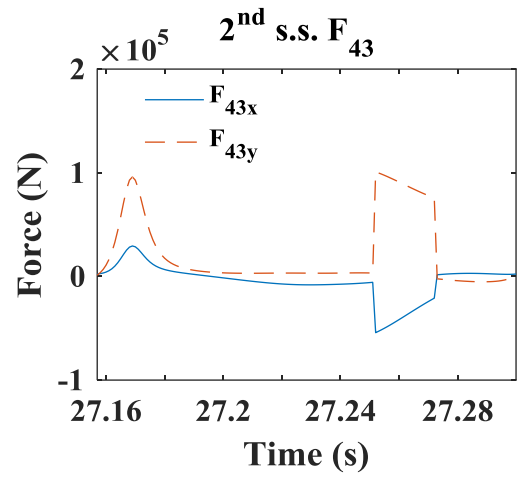


圖 3 - 150 F_{43} 第二穩態接頭力

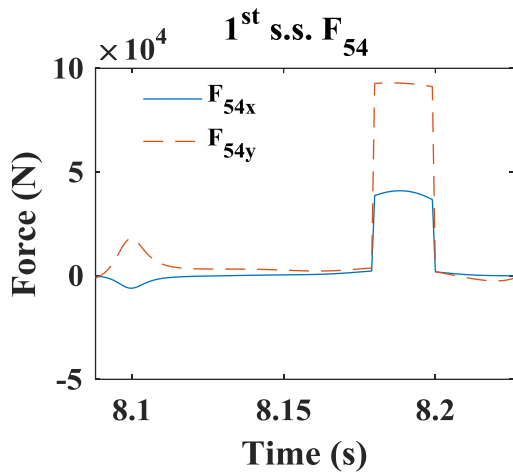


圖 3 - 151 F_{54} 第一穩態接頭力

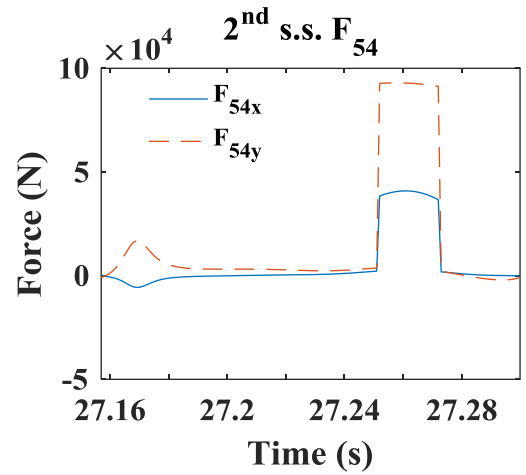


圖 3 - 152 F_{54} 第二穩態接頭力

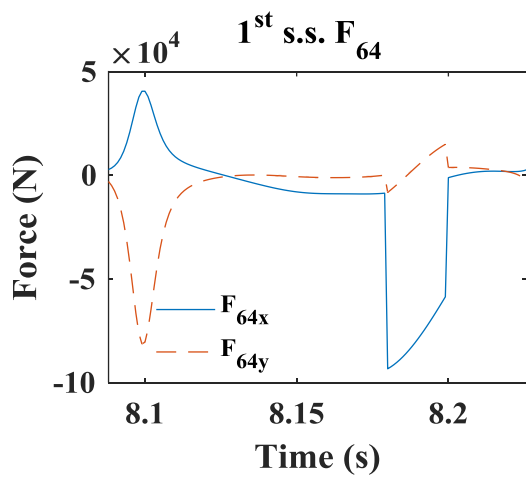


圖 3 - 153 F_{64} 第一穩態接頭力

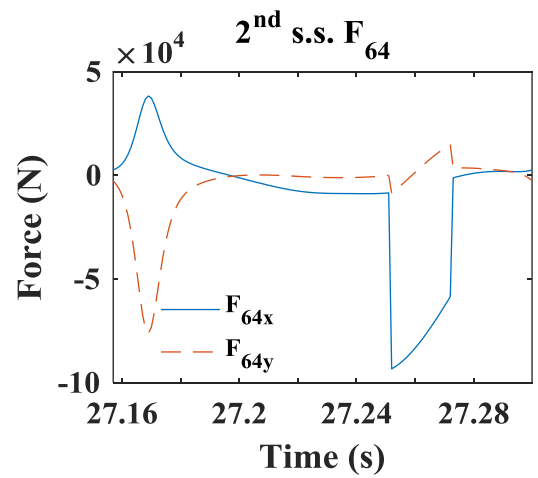


圖 3 - 154 F_{64} 第二穩態接頭力

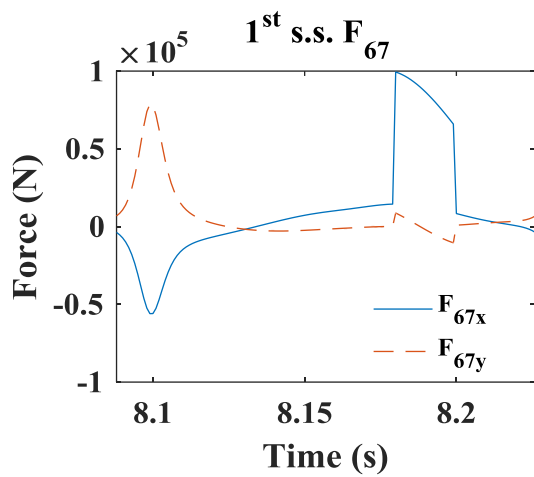


圖 3 - 155 F_{67} 第一穩態接頭力

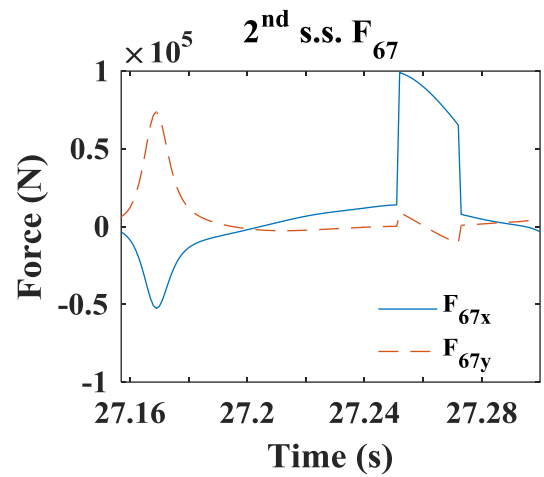


圖 3 - 156 F_{67} 第二穩態接頭力

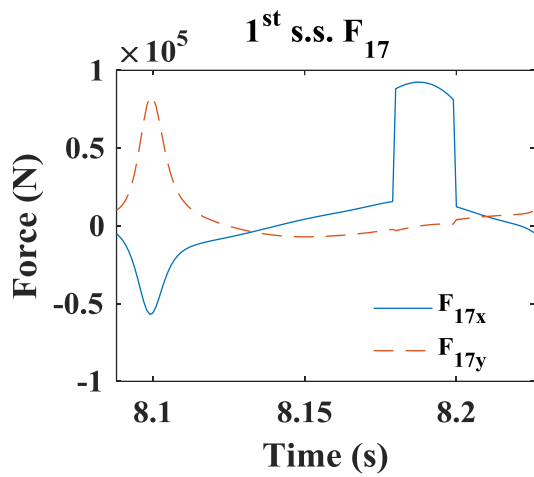


圖 3 - 157 F_{17} 第一穩態接頭力

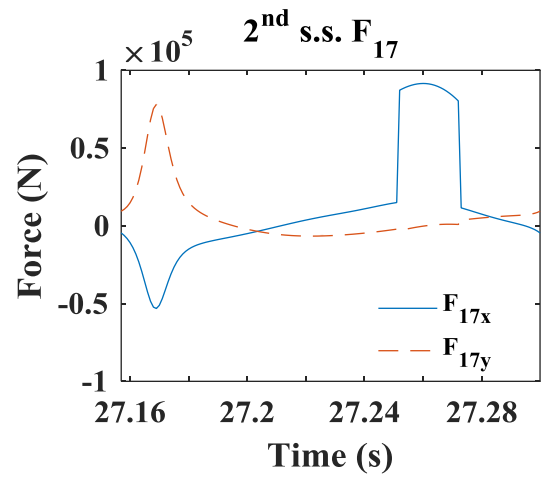


圖 3 - 158 F_{17} 第二穩態接頭力

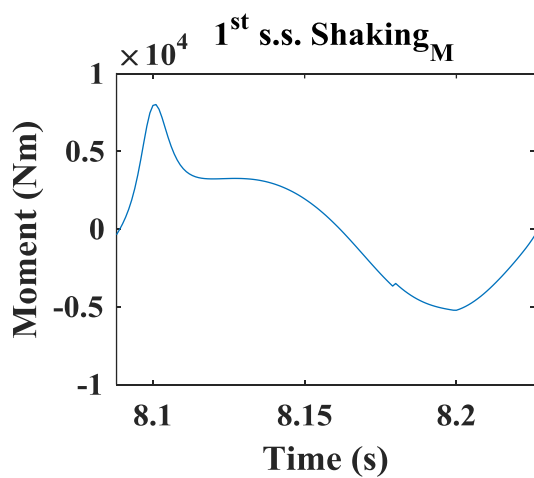


圖 3 - 159 第一穩態搖撼力力矩

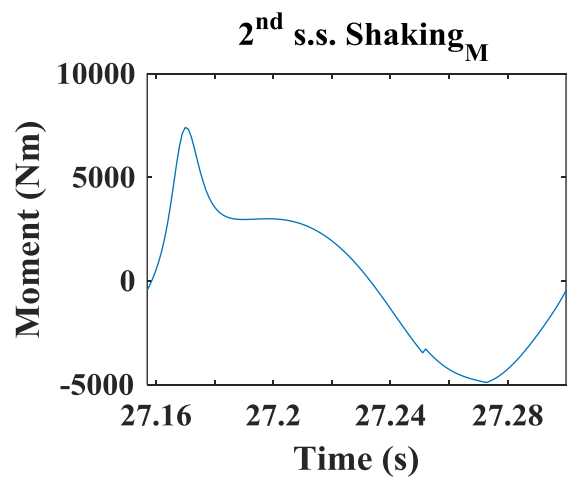


圖 3 - 160 第二穩態搖撼力力矩

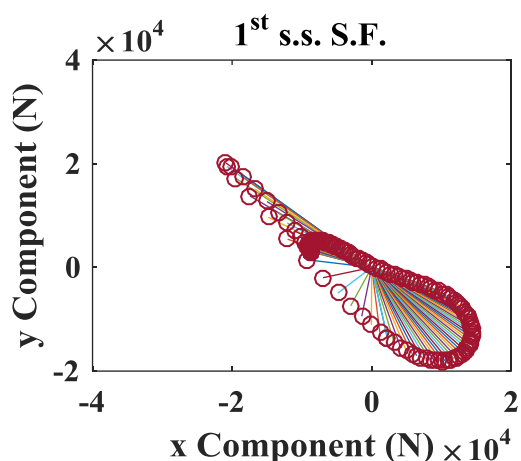


圖 3 - 161 第一穩態搖撼力分力

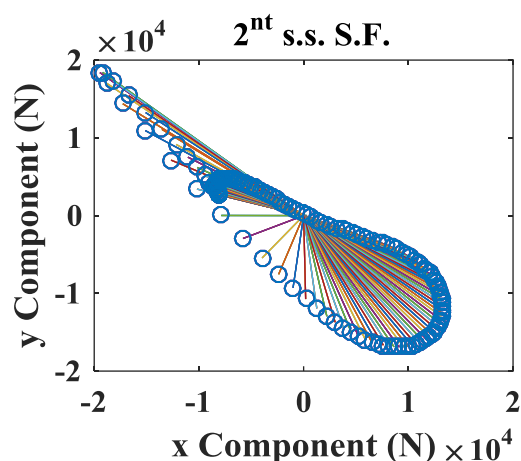


圖 3 - 162 第二穩態搖撼力分力

3.4 綜合討論

綜合以上結果及討論之後，可以清楚知道增加飛輪前後動態特性、運動特性及力量的變化。觀察後發現，增加飛輪後不僅可以降低輸入轉速的波動量以及輸入扭矩，也可以有效降低搖撼立即搖撼力矩，並且保持平均轉速相同。

故我們可以推論增加飛輪不僅可以減小馬達的負荷及減小輸入波動，同時也具有穩定機台的功用。

飛輪	到達穩態時間	輸入轉速波動係數	搖撼力	搖撼力矩
加入前	較快	較大	較大	較大
加入後	較慢	較小	較小	較小

3.5 Recurdyn 驗證結果

本章節將利用商用軟體 Recurdyn 對此六連桿沖床機構做進一步的輸入轉速與輸入扭矩驗證，藉由 Recurdyn 的再次驗證我們可以更有把握理論推導以及 Matlab 程式碼撰寫的正確性。

在此，我們將馬達係數 $a = 0.0027$ 中的有外加彈簧及阻尼的情形進行比較，因為有外加彈簧及阻尼考慮到的情況最完整，若結果正確可推論其他情形應該也會正確，選擇上最為理想。

因為 Recurdyn 的模擬必須購買 ToolBox 才能設定變質量系統，因此此次模擬未將煞車扭矩加入模擬中。

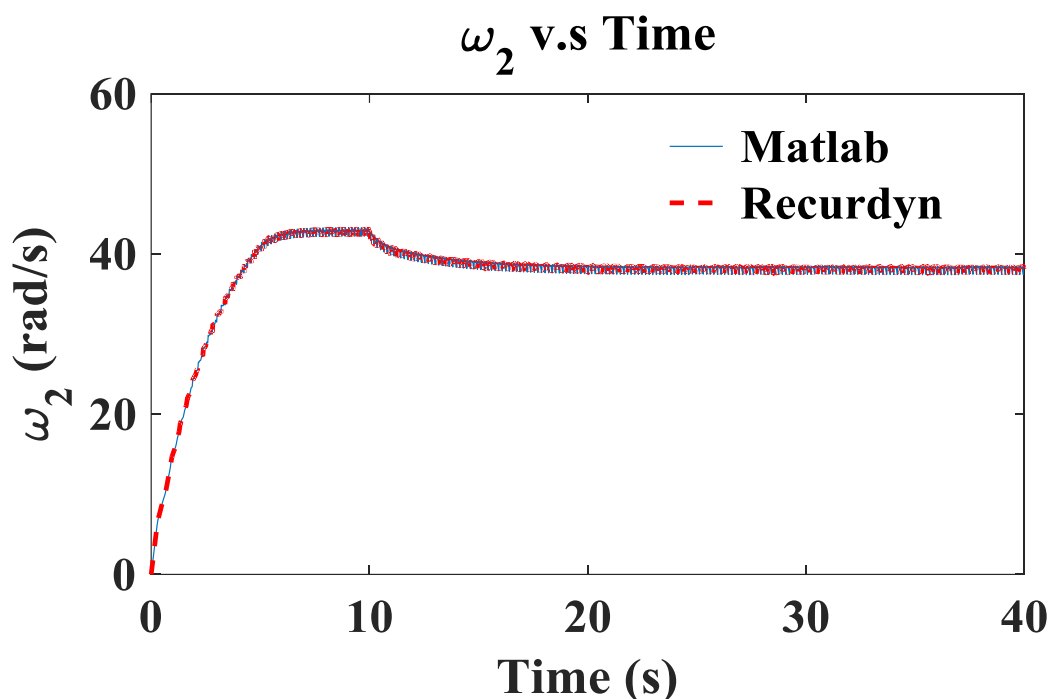


圖 3 - 163 Matlab 理論推導與 Recurdyn 動態分析之輸入轉速疊圖

第四章 結論與建議

本為配合實際工業情況，利用原廠商測試提供之馬達特性曲線，透過微分方程計算出整體六連桿沖床機構之輸入轉速，並取其平均轉速設計飛輪慣性矩與剎車扭矩，取其一週期進行動力特性分析與探討，綜合上述幾張結果，可以得到以下結論與建議。

4.1 結論

1. 本文以輸入轉速波動量需小於 5% 為設計目標，根據不同輸入轉速設計需支飛輪慣性矩，再依據系統剎車前一瞬間之總動能以及預計煞車的角度區間計算出個轉速下剎車所需之扭矩。
2. 對加入飛輪與剎車之沖床機構，以兩種不同馬達係數之馬達做為輸入，計算其相對應之輸入轉速的動態特性，隨後對機構進行力分析，藉此可以了解整體機構之動態特性。
3. 系統增加飛輪後雖然達到穩態的上升時間會增長許多，但明顯看出輸入轉速波動量有顯著的減小，並且不影響機器的工作平均轉速，還可以減小搖撼力矩增加系統的穩定性，對於系統整體之動態特性也有明顯的改善。
4. 運用此理論所計算出之煞車扭矩並無法非常準確在指定剎車角度區間內使機器完全停止運轉，煞車停止後機器會些微往部擺動，慢慢由阻尼將剩餘的能量消耗至機器完全停止。

4.2 建議

1. 可以加入忽略彈簧或阻尼的情況，進而比較彈簧及阻尼的有無分別在煞車作用時會造成哪些影響。
2. 建議在往後的分析可以加入摩擦力在桿件接頭間造成的影響，並進行比較與探討，如此可以更貼近實際的情況，也讓整個分析更加完整真實。
3. 可討論不同 K 值對機構的影響，或是 K 值介於多少能夠有效降低輸入轉速波動量。
4. 可增加空間設計限制，使飛輪設計需考慮除了 K 值以外的因素。