

## Chương II

### XÂY DỰNG MÔ HÌNH DAO ĐỘNG TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA ĐỘNG CƠ ĐÓT TRONG

#### 2.1. Xây dựng mô hình dao động tương đương của động cơ

##### 2.1.1. Các khái niệm tương đương

Ô tô là một hệ dao động bao gồm nhiều bộ phận nối với nhau. Mỗi bộ phận có khối lượng và thông số đặc trưng cho nó. Bộ phận có tác dụng giảm các chấn từ mặt đường lên xe là hệ thống treo.

Để tính toán được dao động ô tô một cách dễ dàng ta phải mô tả ô tô bằng một sơ đồ dao động tương đương. Trong đó sơ đồ tương đương phải có mặt các thông số liên quan đến dao động của ô tô.

Do vậy trước khi lập sơ đồ dao động tương đương cần phải chỉ ra một số khái niệm sau:

##### 2.1.1.1. Khối lượng được treo $M$

Khối lượng được treo  $M$  gồm những cụm chi tiết mà trọng lượng của chúng tác dụng lên hệ thống treo. Đó là khung, thùng, hàng hoá và một số chi tiết khác. Giữa chúng thực ra được nối với nhau một cách đàn hồi nhờ các đệm đàn hồi, ổ tựa đàn hồi bằng cao su, dạ, ni, giấy công nghiệp, ... Hơn nữa bản thân các bộ phận này cũng không phải cứng hoàn toàn, cho nên khối lượng treo thực ra là một nhóm các khối lượng được liên kết đàn hồi thành một hệ thống. Tuy sơ đồ bố trí cụ thể của ô tô, mà có thể chia khối lượng được treo thành 2 hoặc nhiều khối lượng, giữa các khối lượng liên kết với nhau bằng các phần tử đàn hồi và giảm chấn. Tuy nhiên các mối đàn hồi giữa các thành phần của khối lượng được treo có biến dạng rất nhỏ so với biến dạng của hệ thống treo và nốp. Cho nên trong trường hợp đơn giản có thể coi rằng khối lượng được treo  $M$  là một khối lượng đồng nhất.

---

### 2.1.1.2. Khối lượng không được treo $m$

Khối lượng không được treo gồm những cụm mà trọng lượng của chúng không được tác dụng lên hệ thống treo mà chỉ tác dụng lên lốp và truyền xuống mặt đường. Đó là: Bán trục, đầm cầu, bánh xe, một phần chi tiết của hệ thống treo, truyền động lái, nhíp, giảm chấn, một phần của trục các đăng.

Coi khối lượng không được treo là một vật thể đồng nhất, cứng tuyệt đối và có khối lượng  $m$  tập trung vào tâm bánh xe. Bánh xe ngoài tác dụng là hệ thống di chuyển và đỡ toàn bộ trọng lượng của xe còn có tác dụng làm giảm các chấn động từ mặt đường lên xe, tăng độ êm dịu cho xe. Bánh xe là hình ảnh thu nhỏ của hệ thống treo, có nghĩa là cũng bao gồm một thành phần đàn hồi và một thành phần giảm chấn.

### 2.1.1.3. Hệ thống treo

Hệ thống treo trong ô tô có nhiệm vụ nối phần được treo  $M$  và phần khối lượng không được treo  $m$  một cách đàn hồi. Hệ thống treo cùng với lốp làm giảm những chấn động gây nên do sự nhấp nhô của bề mặt đường khi xe chạy. Hệ thống treo gồm những thành phần sau:

- Thành phần đàn hồi: Lò xo, nhíp, thanh xoắn, bình khí ... Nó được biểu diễn bằng một lò xo có độ cứng  $C$ .

- Thành phần giảm chấn: có nhiệm vụ dập tắt các chấn động. Nó được đặc trưng bằng hệ số cản giảm chấn  $K$ .

Với các khái niệm và các mô hình tương đương của các bộ phận của ô tô có thể xây dựng mô hình dao động tương đương của ô tô.

### 2.1.2. Các giả thiết

Để xây dựng mô hình dao động tương đương của động cơ chúng ta phải đưa ra các giả thiết dưới đây

- Thân xe đối xứng qua trục dọc của xe;

---

- Vô xe là một tấm phẳng tuyệt đối cứng đặt tại trọng tâm T và có các mô men quán tính  $J_x, J_y$ , nối với khối lượng không được treo thông qua các hệ thống treo được đặc trưng bởi độ cứng C và hệ số cản K;

- Khối lượng phần không được treo phía trước được chia thành hai khối lượng  $m_{1p}, m_{1t}$  mỗi khối lượng không được treo liên kết với đường thông qua các lò xo có độ cứng là  $C_{L1P}, C_{L1T}$  và các giảm chấn có hệ số cản  $K_{L1P}, K_{L1T}$ . Các thông số này được đặc trưng cho độ đàn hồi của lớp và dập tắt dao động của lớp trước;

- Khối lượng phần không được treo phía sau được chia thành hai khối lượng  $m_{2p}, m_{2t}$  mỗi khối lượng không được treo liên kết với đường thông qua các lò xo có độ cứng là  $C_{L2P}, C_{L2T}$  và các giảm chấn có hệ số cản  $K_{L2P}, K_{L2T}$ . Các thông số này được đặc trưng cho độ đàn hồi của lớp và dập tắt dao động của lớp sau;

- Cầu trước và cầu sau có thể coi như những thanh phẳng nhưng do đây là hệ thống treo độc lập nên chúng ta chỉ coi chuyển động tịnh tiến của cầu xe theo phương Z mà không có chuyển động xoay theo trục X;

- Bỏ qua các nguồn kích động trên xe và coi nguồn kích động duy nhất là sự không bằng phẳng của mặt đường.

- Ôtô chuyển động đều với vận tốc V bằng hằng số  $V = \text{const}$ ;

- Bốn vị trí bắt bu lông giữa động cơ và vô xe được coi là đệm đàn hồi và được đặc trưng bởi lò xo và các giảm chấn.

- Khối lượng của động cơ là một tấm tuyệt đối cứng đặt tại trọng tâm  $T_1$  và có các mô men quán tính  $J_{dcx}, J_{dcy}$ , nối với vô xe thông qua các đệm đàn hồi đặc trưng độ cứng  $C_{dc}$  và hệ số cản  $K_{dc}$ ;

### 2.1.3. Mô hình dao động tương đương

Với các giả thiết trên ta có mô hình dao động tương đương của động cơ dưới đây:

## 2.2. Thiết lập hệ phương trình vi phân mô tả dao động của động cơ

Để có thể xác định được các thông số dao động của xe ta cần phải từ mô hình cơ học thiết lập được các phương trình vi phân mô tả chuyển động dao động của hệ. Có rất nhiều phương pháp để có thể thiết lập phương trình vi phân chuyển động của cơ hệ như: phương trình Lagrange loại II hoặc theo nguyên lý D'Alambe. Hiện nay người ta sử dụng nhiều cơ sở lý thuyết hệ nhiều vật để thiết lập hệ phương trình vi phân mô tả động lực của cơ hệ. Đầu tiên là thiết lập hệ phương trình cân bằng cho từng vật của cơ hệ sau đó liên kết chúng lại với nhau bằng quan hệ lực và momen.

Theo nguyên lý D'Alambe:  $\vec{F} + \vec{F}_{qt} = 0$

Trong đó:

$\vec{F}$  : là tổng các ngoại lực tác dụng lên vật.

$\vec{F}_{qt}$  : là tổng các lực quán tính tác dụng lên vật.

Ở đây chúng ta xây dựng mô hình là một cơ hệ gồm 7 vật: thân xe, khối lượng không được treo trước trái (phải), khối lượng không được treo sau trái (phải), mặt đường và động cơ, sau đó ta thiết lập hệ phương trình vi phân dao động cho từng vật của cơ hệ và nối chúng lại với nhau (hình 2.3)

Mô hình xây dựng gồm 7 vật:

\* Vật 1: Thân xe (phần khối lượng được treo) coi như 1 vật có khối lượng M đặt tại trọng tâm T và các momen quán tính:  $J_y, J_x$ . Chuyển động của thân xe là hợp của ba chuyển động:

- + Chuyển động tịnh tiến theo phương Z ứng với tọa độ suy rộng Z;
- + Chuyển động quay quanh trục Y tương ứng tọa độ suy rộng  $\varphi$ ;
- + Chuyển động quay quanh trục X tương ứng tọa độ suy rộng  $\theta$ .

\* Vật 2,3,4,5: Các khối lượng không được treo trước trái, phải và sau bên trái, phải

+ Khối lượng không được treo trước coi như là hai vật có khối lượng bên trái và bên phải là  $m_{1P}, m_{1T}$  chuyển động tịnh tiến theo phương Z tương ứng tọa độ suy rộng  $\xi_{1T}, \xi_{1P}$ .

+ Khối lượng không được treo sau coi như là hai vật có khối lượng bên trái và bên phải là  $m_{2P}, m_{2T}$  chuyển động tịnh tiến theo phương Z tương ứng tọa độ suy rộng  $\xi_{2T}, \xi_{2P}$ .

\* Vật 6: Mặt đường: là nguồn kích thích dao động của cơ hệ và là một tập hợp các mấp mô ngẫu nhiên trên toàn bộ chiều dài của nó.

\* Vật 7: Động cơ coi như 1 vật có khối lượng  $M_{dc}$  đặt tại trọng tâm  $T_1$  và các momen quán tính:  $J_{dcx}, J_{dcy}$ . Chuyển động của động cơ là hợp của ba chuyển động:

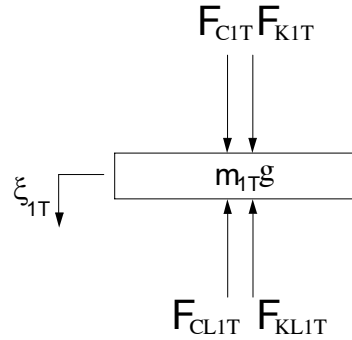
- + Chuyển động tịnh tiến theo phương  $Z_1$  ứng với tọa độ suy rộng  $Z_1$ ;
- + Chuyển động quay quanh trục  $Y_1$  tương ứng tọa độ suy rộng  $\varphi_1$ ;
- + Chuyển động quay quanh trục  $X_1$  tương ứng tọa độ suy rộng  $\theta_1$ .

Vì trong luận văn này chỉ nghiên cứu và mô phỏng dao động của ô tô với hệ thống treo độc lập nên cầu xe không có chuyển động quay quanh trục dọc của xe.

Sau khi đã phân tích xe thành các vật riêng biệt với đầy đủ các đại lượng cần thiết sẽ lập phương trình vi phân mô tả dao động của cơ hệ theo nguyên lý D'Alambe.

### **2.2.1. Khối lượng không được treo trước:**

*Phương trình dao động của khối lượng không được treo phía trước trái:*



**Hình 2.4.** Sơ đồ lực tác dụng lên khối lượng không được treo trước trái.

Theo phương chuyển vị  $\xi_{1T}$

Các lực tác dụng:

- Lực quán tính:  $F_{q1T} = -m_{1T} \cdot \ddot{\xi}_{1T}$  (2.1)

- Trọng lực:  $F_{dlT} = -m_{1T} \cdot g$  (2.2)

- Lực từ đường truyền lên cầu xe thông qua lớp:

- Lực đàn hồi của bánh xe trái:  $F_{CL1T} = -C_{L1T} \cdot (\xi_{1T} - q_{1T})$

- Lực giảm chấn của bánh xe trái:  $F_{KL1T} = -K_{L1T} (\dot{\xi}_{1T} - \dot{q}_{1T})$

- Lực truyền từ thân xe thông qua hệ thống treo:

Gọi  $Z_{1T}$  là điểm bên trái trên cầu trước nối với thân xe thông qua hệ thống treo phía trước bên trái.

+ Lực đàn hồi của treo trước bên trái:  $F_{C1T} = C_{1T} \cdot (Z_{1T} - \xi_{1T})$

+ Lực giảm chấn của treo trước bên trái:  $F_{K1T} = K_{1T} (\dot{Z}_{1T} - \dot{\xi}_{1T})$

Toạ độ  $Z_{1T}$  có quan hệ với  $Z, \varphi, \theta$  qua phương trình quan hệ sau:

$$Z_{1T} = Z - a\varphi - \frac{B_T}{2}\theta \quad (2.3)$$

Thay quan hệ trên vào các phương trình ta có lực từ thân xe truyền qua hệ thống treo trước bên trái:

$$F_{C1T} = C_{1T} \left( Z - a\varphi - \frac{B_T}{2}\theta - \xi_{1T} \right)$$

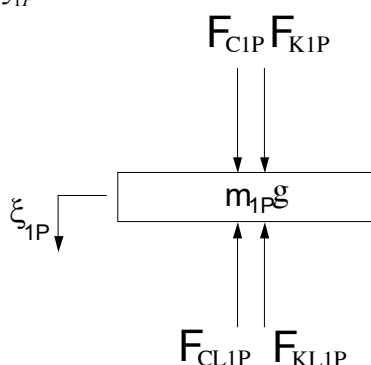
$$F_{K1T} = K_{1T} \left( \dot{Z} - a\dot{\varphi} - \frac{B_T}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{1T} \right) \quad (2.4)$$

Phương trình cân bằng lực theo phương  $\xi_{1T}$  của khối lượng không được treo trước trái:

$$-m_{1T} \ddot{\xi}_{1T} + [F_{C1T} + F_{K1T}] - [F_{CL1T} + F_{KL1T}] = 0 \quad (2.5)$$

*Phương trình dao động của khối lượng không được treo trước phải:*

Theo phương chuyển vị  $\xi_{1P}$



**Hình 2.5.** Sơ đồ lực tác dụng lên khối lượng không được treo trước phải.

Các lực tác dụng:

- Lực quán tính:  $F_{q1P} = -m_{1P} \cdot \ddot{\xi}_{1P}$  (2.6)

- Trọng lực:  $F_{tl1P} = -m_{1P} \cdot g$  (2.7)

- Lực từ đường truyền lên cầu xe thông qua lốp:

+ Lực đàn hồi của bánh xe phải:  $F_{CL1P} = -C_{L1P} \cdot (\xi_{1P} - q_{1P})$

+ Lực giảm chấn của bánh xe phải:  $F_{KL1P} = -K_{L1P} (\dot{\xi}_{1P} - \dot{q}_{1P})$

- Lực truyền từ thân xe thông qua hệ thống treo:

Gọi  $Z_{1P}$  là điểm bên phải trên cầu trước nối với thân xe thông qua hệ thống treo phía trước phải.

- Lực đàn hồi của treo trước bên phải:  $F_{C1P} = C_{1P} \cdot (Z_{1P} - \xi_{1P})$

- Lực giảm chấn của treo trước bên phải:  $F_{K1P} = K_{1P}(\dot{Z}_{1P} - \dot{\xi}_{1P})$

Toạ độ  $Z_{1P}$  có quan hệ với  $Z, \varphi, \theta$  qua phương trình quan hệ sau:

$$Z_{1P} = Z - a\varphi + \frac{B_T}{2}\theta \quad (2.8)$$

Thay quan hệ trên vào các phương trình ta có lực từ thân xe truyền qua hệ thống treo trước bên phải:

$$\begin{aligned} F_{C1P} &= C_{1P} \left( Z - a\varphi + \frac{B_T}{2}\theta - \xi_{1P} \right) \\ F_{K1P} &= K_{1P} \left( \dot{Z} - a\dot{\varphi} + \frac{B_T}{2}\dot{\theta} - \dot{\xi}_{1P} \right) \end{aligned} \quad (2.9)$$

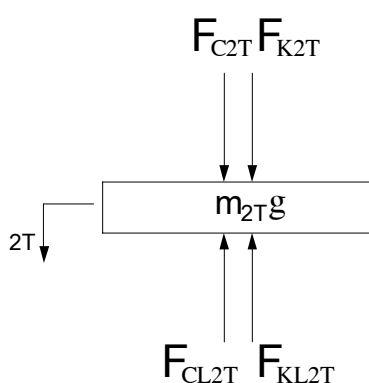
Phương trình cân bằng lực theo phương  $\xi_{1P}$  của khối lượng không được treo trước phải:

$$-m_{1P}\ddot{\xi}_{1P} + [F_{C1P} + F_{K1P}] - [F_{CL1P} + F_{KL1P}] = 0 \quad (2.10)$$

### 2.2.2. Khối lượng không được treo sau:

Hoàn toàn tương tự như khi thiết lập phương trình dao động của khối lượng không được treo trước có thể mô tả dao động của khối lượng không được treo sau.

*Phương trình dao động của khối lượng không được treo sau trái:*



**Hình 2.6.** Sơ đồ lực tác dụng của khối lượng không được treo sau trái.

Theo phương chuyển vị  $\xi_{2T}$

Các lực tác dụng:



- Lực quán tính:  $F_{qt2T} = -m_{2T} \cdot \ddot{\xi}_{2T}$  (2.11)

- Trọng lực:  $F_{tl2T} = -m_{2T} \cdot g$  (2.12)

- Lực từ đường truyền lên cầu xe thông qua lốp:

+ Lực đàn hồi của bánh xe trái:  $F_{CL2T} = -C_{L2T} \cdot (\xi_{2T} - q_{2T})$

+ Lực giảm chấn của bánh xe trái:  $F_{KL2T} = -K_{L2T} (\dot{\xi}_{2T} - \dot{q}_{2T})$

- Lực truyền từ thân xe thông qua hệ thống treo:

Gọi  $Z_{2T}$  là điểm bên trái trên cầu trước nối với thân xe thông qua hệ thống treo phía trước bên trái.

+ Lực đàn hồi của treo trước bên trái:

$$F_{C2T} = C_{2T} \cdot (Z_{2T} - \xi_{2T})$$

+ Lực giảm chấn của treo trước bên trái:

$$F_{K2T} = K_{2T} (\dot{Z}_{2T} - \dot{\xi}_{2T})$$

Toạ độ  $Z_{1T}$  có quan hệ với  $Z$ ,  $\varphi$ ,  $\theta$  qua phương trình quan hệ sau:

$$Z_{2T} = Z + b\varphi - \frac{B_S}{2}\theta \tag{2.13}$$

Thay quan hệ trên vào các phương trình ta có lực từ thân xe truyền qua hệ thống treo trước bên trái:

$$F_{C2T} = C_{2T} \left( Z + b\varphi - \frac{B_S}{2}\theta - \xi_{2T} \right)$$

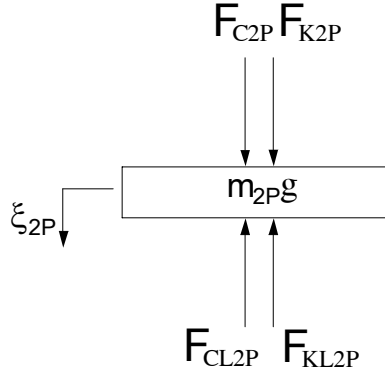
$$F_{K2T} = K_{2T} \left( \dot{Z} + b\dot{\varphi} - \frac{B_S}{2}\dot{\theta} - \dot{\xi}_{2T} \right) \tag{2.14}$$

Phương trình cân bằng lực theo phương  $\xi_{2T}$  của khối lượng không được treo sau trái:

$$-m_{2T} \ddot{\xi}_{2T} + [F_{C2T} + F_{K2T}] - [F_{CL2T} + F_{KL2T}] = 0 \tag{2.15}$$


---

Phương trình dao động của “1/4” cầu sau phải:



Hình 2.7. Sơ đồ lực tác dụng của khối lượng không được treo sau phải.

Các lực tác dụng:

- Lực quán tính:  $F_{qt2P} = -m_{2P} \cdot \ddot{\xi}_{2P}$  (2.16)

- Trọng lực:  $F_{tl2P} = -m_{2P} \cdot g$  (2.17)

- Lực từ đường truyền lên cầu xe thông qua lớp:

+ Lực đàn hồi của bánh xe phải:  $F_{CL2P} = -C_{L2P} \cdot (\xi_{2P} - q_{2P})$

+ Lực giảm chấn của bánh xe phải:  $F_{KL2P} = -K_{L2P} \cdot (\dot{\xi}_{2P} - \dot{q}_{2P})$

- Lực truyền từ thân xe thông qua hệ thống treo:

Gọi  $Z_{1P}$  là điểm bên phải trên cầu trước nối với thân xe thông qua hệ thống treo phía trước phải.

- Lực đàn hồi của treo trước bên phải:  $F_{C2P} = C_{2P} \cdot (Z_{2P} - \xi_{2P})$

- Lực giảm chấn của treo trước bên phải:  $F_{K2P} = K_{2P} \cdot (\dot{Z}_{2P} - \dot{\xi}_{2P})$

Toạ độ  $Z_{1P}$  có quan hệ với  $Z, \varphi, \theta$  qua phương trình quan hệ sau:

$$Z_{2P} = Z + b\varphi + \frac{B_S}{2} \theta \quad (2.18)$$

Thay quan hệ trên vào các phương trình ta có lực từ thân xe truyền qua hệ thống treo trước bên phải:

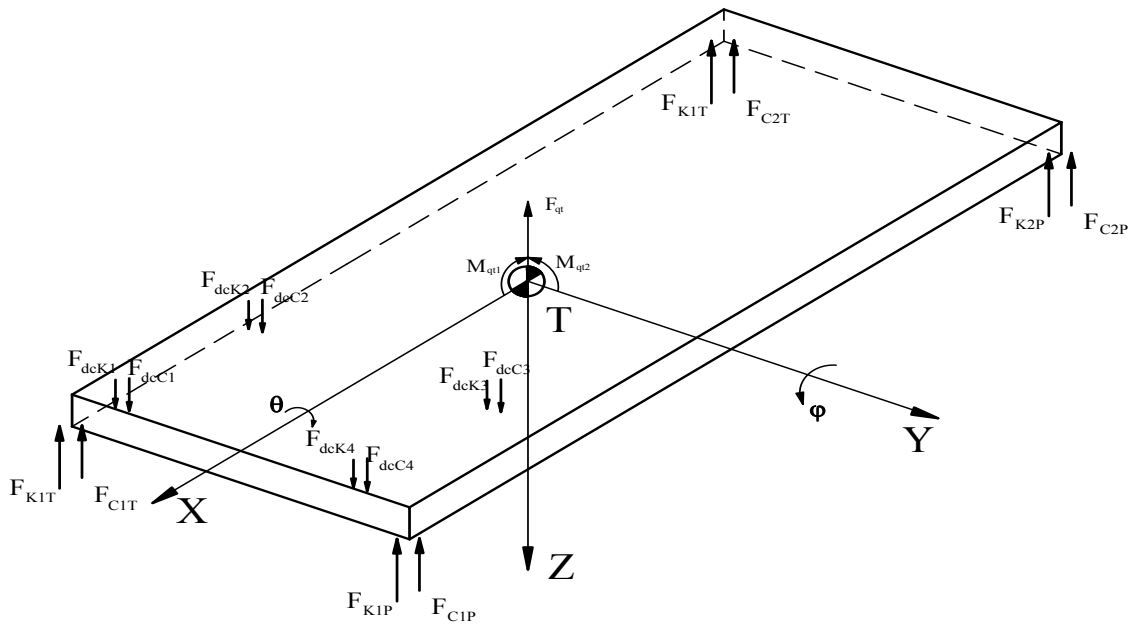
$$F_{C2P} = C_{2P} \left( Z + b\varphi + \frac{B_S}{2} \theta - \xi_{2P} \right)$$

$$F_{K2P} = K_{2P} \left( \dot{Z} + b\dot{\varphi} + \frac{B_S}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{2P} \right) \quad (2.19)$$

Phương trình cân bằng lực theo phương  $\xi_{2P}$  của khối lượng không được treo sau phải:

$$-m_{2P} \ddot{\xi}_{2P} + [F_{C2P} + F_{K2P}] - [F_{CL2P} + F_{KL2P}] = 0 \quad (2.20)$$

### 2.2.3. Khối lượng được treo (thân xe):



**Hình 2.8.** Sơ đồ lực và mô men tác dụng lên thân xe.

a. Phương trình cân bằng theo phương Z:

Các lực tác dụng:

- Trọng lực:  $F_{tl3} = -Mg$  (2.21)

- Lực quán tính:  $F_{qt3} = -M\ddot{Z}$  (2.22)

- Lực truyền từ hệ thống treo trước trái:

$$F_{C1T} = C_{1T} \left( Z - a\varphi - \frac{B_T}{2} \theta - \xi_{1T} \right)$$

$$F_{K1T} = K_{1T} \left( \dot{Z} - a\dot{\varphi} - \frac{B_T}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{1T} \right) \quad (2.23)$$

- Lực truyền từ hệ thống treo trước phải:

$$F_{C1P} = C_{1P} \left( Z - a\dot{\varphi} + \frac{B_T}{2} \dot{\theta} - \xi_{1P} \right)$$

$$F_{K1P} = K_{1P} \left( \dot{Z} - a\dot{\varphi} + \frac{B_T}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{1P} \right) \quad (2.24)$$

- Lực truyền từ hệ thống treo sau trái:

$$F_{C2T} = C_{2T} \left( Z + b\dot{\varphi} - \frac{B_S}{2} \dot{\theta} - \xi_{2T} \right)$$

$$F_{K2T} = K_{2T} \left( \dot{Z} + b\dot{\varphi} - \frac{B_S}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{2T} \right) \quad (2.25)$$

- Lực truyền từ hệ thống treo sau phải:

$$F_{C2P} = C_{2P} \left( Z + b\dot{\varphi} + \frac{B_S}{2} \dot{\theta} - \xi_{2P} \right)$$

$$F_{K2P} = K_{2P} \left( \dot{Z} + b\dot{\varphi} + \frac{B_S}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{2P} \right) \quad (2.26)$$

- Lực vị trí bắt bu lông thứ nhất:

$$F_{dcC1} = C_{dc1} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_1 \cdot \varphi + y_1 \cdot \theta \right)$$

$$F_{dcK1} = K_{dc1} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - \dot{Z} + x_1 \cdot \dot{\varphi} + y_1 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.27)$$

- Lực vị trí bắt bu lông thứ hai:

$$F_{dcC2} = C_{dc2} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_2 \cdot \varphi + y_2 \cdot \theta \right)$$

$$F_{dcK2} = K_{dc2} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - \dot{Z} + x_2 \cdot \dot{\varphi} + y_2 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.28)$$

- Lực vị trí bắt bu lông thứ ba:

$$F_{dcC3} = C_{dc3} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_3 \cdot \varphi + y_3 \cdot \theta \right)$$

$$F_{dcK3} = K_{dc3} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - \dot{Z} + x_3 \cdot \dot{\varphi} + y_3 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.29)$$

- Lực vị trí bắt bu lông thứ tư:

$$F_{dcC4} = C_{dc4} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_4 \cdot \varphi + y_4 \cdot \theta \right)$$

$$F_{dcK4} = K_{dc4} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_4 \cdot \dot{\varphi} + y_4 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.30)$$

Phương trình cân bằng lực của thân xe theo phương Z:

$$-M\ddot{Z} - [F_{C1T} + F_{K1T}] - [F_{C1P} + F_{K1P}] - [F_{C2T} + F_{K2T}] - [F_{C2P} + F_{K2P}] + [F_{dcC1} + F_{dcK1}] + [F_{dcC2} + F_{dcK2}] + [F_{dcC3} + F_{dcK3}] + [F_{dcC4} + F_{dcK4}] = 0 \quad (2.31)$$

*b. Phương trình cân bằng momen theo toạ độ suy rộng  $\varphi$ :*

Các momen tác dụng với qui ước dấu có chiều dương cùng chiều với chiều quay của  $\varphi$ :

- Momen quán tính:  $M_{q1} = -j_Y \cdot \ddot{\varphi} \quad (2.32)$

- Momen truyền từ hệ thống treo trước trái:

$$M_{C1T} = aC_{1T} \left( Z - a\varphi - \frac{B_T}{2} \theta - \xi_{1T} \right)$$

$$M_{K1T} = aK_{1T} \left( \dot{Z} - a\dot{\varphi} - \frac{B_T}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{1T} \right) \quad (2.33)$$

- Momen truyền từ hệ thống treo trước phải:

$$M_{C1P} = aC_{1P} \left( Z - a\varphi + \frac{B_T}{2} \theta - \xi_{1P} \right)$$

$$M_{K1P} = aK_{1P} \left( \dot{Z} - a\dot{\varphi} + \frac{B_T}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{1P} \right) \quad (2.34)$$

- Momen truyền từ hệ thống treo sau trái:

$$M_{C2T} = -bC_{2T} \left( Z + b\varphi - \frac{B_S}{2} \theta - \xi_{2T} \right)$$

$$M_{K2T} = -bK_{2T} \left( \dot{Z} + b\dot{\varphi} - \frac{B_S}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{2T} \right) \quad (2.35)$$

- Momen truyền từ hệ thống treo sau phải:

$$M_{C2P} = -bC_{2P} \left( Z + b\varphi + \frac{B_S}{2} \theta - \xi_{2P} \right)$$

$$M_{K2P} = -bK_{2P} \left( \dot{Z} + b\dot{\varphi} + \frac{B_S}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{2P} \right) \quad (2.36)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ nhất:

$$M_{dcC1} = x_1 \cdot C_{dc1} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_1 \cdot \varphi + y_1 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK1} = x_1 \cdot K_{dc1} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_1 \cdot \dot{\varphi} + y_1 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.37)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ hai:

$$M_{dcC2} = x_2 \cdot C_{dc2} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_2 \cdot \varphi + y_2 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK2} = x_2 \cdot K_{dc2} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_2 \cdot \dot{\varphi} + y_2 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.38)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ ba:

$$M_{dcC3} = x_3 \cdot C_{dc3} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_3 \cdot \varphi + y_3 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK3} = x_3 \cdot K_{dc3} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_3 \cdot \dot{\varphi} + y_3 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.39)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ tư:

$$M_{dcC4} = x_4 \cdot C_{dc4} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_4 \cdot \varphi + y_4 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK4} = x_4 \cdot K_{dc4} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_4 \cdot \dot{\varphi} + y_4 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.40)$$

Phương trình cân bằng momen theo tọa độ suy rộng  $\square \square$

$$- J_y \ddot{\varphi} + a[F_{C1T} + F_{K1T}] + a[F_{C1P} + F_{K1P}] - b[F_{C2T} + F_{K2T}] - b[F_{C2P} + F_{K2P}] +$$

$$x_1 \cdot [F_{dcC1} + F_{dcK1}] + x_2 \cdot [F_{dcC2} + F_{dcK2}] + x_3 [F_{dcC3} + F_{dcK3}] + x_4 [F_{dcC4} + F_{dcK4}] = 0 \quad (3.41)$$

*c. Phương trình cân bằng momen theo tọa độ suy rộng  $\theta$*

Các momen tác dụng với quy ước dấu có chiều dương cùng chiều với chiều quay của  $\theta$ .

- Momen quán tính:  $M_{qt2} = -j_x \cdot \ddot{\theta}$  (2.42)

- Momen truyền từ hệ thống treo trước trái:

$$M_{C1T} = \frac{B_T}{2} C_{1T} \left( Z - a\varphi - \frac{B_T}{2} \theta - \xi_{1T} \right)$$

$$M_{K1T} = \frac{B_T}{2} K_{1T} (\dot{Z} - a\dot{\varphi} - \frac{B_T}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{1T}) \quad (2.43)$$

- Momen truyền từ hệ thống treo trước phải:

$$M_{C1P} = -\frac{B_T}{2} C_{1P} (Z - a\varphi + \frac{B_T}{2} \theta - \xi_{1P})$$

$$M_{K1P} = -\frac{B_T}{2} K_{1P} (\dot{Z} - a\dot{\varphi} + \frac{B_T}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{1P}) \quad (2.44)$$

- Momen truyền từ hệ thống treo sau trái:

$$M_{C2T} = \frac{B_S}{2} C_{2T} (Z + b\varphi - \frac{B_S}{2} \theta - \xi_{2T})$$

$$M_{K2T} = \frac{B_S}{2} K_{2T} (\dot{Z} + b\dot{\varphi} - \frac{B_S}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{2T}) \quad (2.45)$$

- Momen truyền từ hệ thống treo sau phải:

$$M_{C2P} = -\frac{B_S}{2} C_{2P} (Z + b\varphi + \frac{B_S}{2} \theta - \xi_{2P})$$

$$M_{K2P} = -\frac{B_S}{2} K_{2P} (\dot{Z} + b\dot{\varphi} + \frac{B_S}{2} \dot{\theta} - \dot{\xi}_{2P}) \quad (2.46)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ nhất:

$$M_{dc1} = y_1 \cdot C_{dc1} (Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_1 \cdot \varphi + y_1 \cdot \theta)$$

$$M_{dcK1} = y_1 \cdot K_{dc1} (\dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - \dot{Z} + x_1 \cdot \dot{\varphi} + y_1 \cdot \dot{\theta}) \quad (2.47)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ hai:

$$M_{dc2} = y_2 \cdot C_{dc2} (Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_2 \cdot \varphi + y_2 \cdot \theta)$$

$$M_{dcK2} = y_2 \cdot K_{dc2} (\dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - \dot{Z} + x_2 \cdot \dot{\varphi} + y_2 \cdot \dot{\theta}) \quad (2.48)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ ba:

$$M_{dc3} = y_3 \cdot C_{dc3} (Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_3 \cdot \varphi + y_3 \cdot \theta)$$


---

$$M_{dcK3} = y_3 \cdot K_{dc3} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_3 \cdot \dot{\varphi} + y_3 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.49)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ tư:

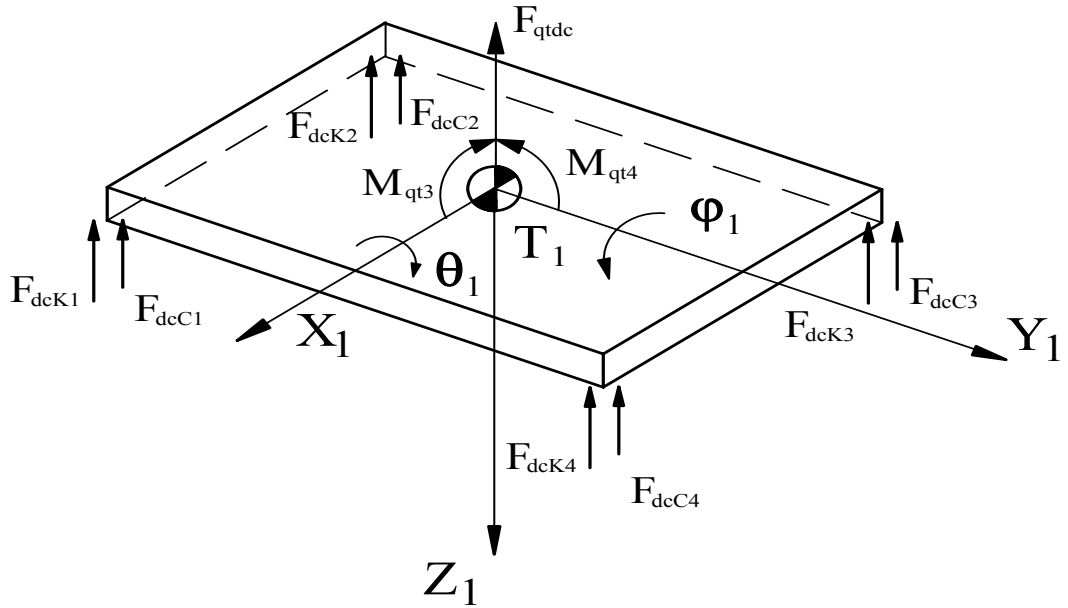
$$M_{dcC4} = y_4 \cdot C_{dc4} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_4 \cdot \varphi + y_4 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK4} = y_4 \cdot K_{dc4} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_4 \cdot \dot{\varphi} + y_4 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.50)$$

Phương trình cân bằng momen theo toạ độ suy rộng  $\theta$ :

$$-J_X \ddot{\theta} + \frac{B_T}{2} [F_{C1T} + F_{K1T}] - \frac{B_T}{2} [F_{C1P} + F_{K1P}] + \frac{B_S}{2} [F_{C2T} + F_{K2T}] - \frac{B_S}{2} [F_{C2P} + F_{K2P}] + y_1 \cdot [F_{dcC1} + F_{dcK1}] + y_2 \cdot [F_{dcC2} + F_{dcK2}] - y_3 [F_{dcC3} + F_{dcK3}] - y_4 [F_{dcC4} + F_{dcK4}] = 0 \quad (2.51)$$

#### 2.2.4. Khối lượng của động cơ:



**Hình 2.9.** Sơ đồ lực tác dụng lên khối lượng được treo (của động cơ).

a. Phương trình cân bằng theo phương  $Z_1$ :

Các lực tác dụng:

- Trọng lực:  $F_{dc} = -M_{dc}g \quad (2.52)$

- Lực quán tính:  $F_{qtde} = -M_{dc}\ddot{Z} \quad (2.53)$

- Lực vị trí bắt bu lông thứ nhất:



$$F_{dcC1} = C_{dc1} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_1 \cdot \varphi + y_1 \cdot \theta \right)$$

$$F_{dcK1} = K_{dc1} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_1 \cdot \dot{\varphi} + y_1 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.54)$$

- Lực vị trí bắt bu lông thứ hai:

$$F_{dcC2} = C_{dc2} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_2 \cdot \varphi + y_2 \cdot \theta \right)$$

$$F_{dcK2} = K_{dc2} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_2 \cdot \dot{\varphi} + y_2 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.55)$$

- Lực vị trí bắt bu lông thứ ba:

$$F_{dcC3} = C_{dc3} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_3 \cdot \varphi + y_3 \cdot \theta \right)$$

$$F_{dcK3} = K_{dc3} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_3 \cdot \dot{\varphi} + y_3 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.56)$$

- Lực vị trí bắt bu lông thứ tư:

$$F_{dcC4} = C_{dc4} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_4 \cdot \varphi + y_4 \cdot \theta \right)$$

$$F_{dcK4} = K_{dc4} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_4 \cdot \dot{\varphi} + y_4 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.57)$$

Phương trình cân bằng lực của thân xe theo phương Z:

$$-M_{dc} \ddot{Z}_1 - [F_{dcC1} + F_{dcK1}] + [F_{dcC2} + F_{dcK2}] + [F_{dcC3} + F_{dcK3}] + [F_{dcC4} + F_{dcK4}] = 0 \quad (2.58)$$

*b. Phương trình cân bằng momen theo tọa độ suy rộng  $\varphi$ :*

Các momen tác dụng với qui ước dấu có chiều dương cùng chiều với chiều quay của  $\varphi$ :

- Momen quán tính:  $M_{qt4} = -J_{dcy} \cdot \ddot{\varphi}_1 \quad (2.59)$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ nhất:

$$M_{dcC1} = x_1 \cdot C_{dc1} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_1 \cdot \varphi + y_1 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK1} = x_1 \cdot K_{dc1} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_1 \cdot \dot{\varphi} + y_1 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.60)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ hai:

$$M_{dcC2} = x_2 \cdot C_{dc2} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_2 \cdot \varphi + y_2 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK2} = x_2 \cdot K_{dc2} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_2 \cdot \dot{\varphi} + y_2 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.61)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ ba:

$$M_{dcC3} = x_3 \cdot C_{dc3} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_3 \cdot \varphi + y_3 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK3} = x_3 \cdot K_{dc3} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_3 \cdot \dot{\varphi} + y_3 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.62)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ tư:

$$M_{dcC4} = x_4 \cdot C_{dc4} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_4 \cdot \varphi + y_4 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK4} = x_4 \cdot K_{dc4} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_4 \cdot \dot{\varphi} + y_4 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.63)$$

Phương trình cân bằng momen theo toạ độ suy rộng  $\square \square$

$$- J_{dcy} \ddot{\varphi}_1 - x_1 \cdot [F_{dcC1} + F_{dcK1}] + x_2 \cdot [F_{dcC2} + F_{dcK2}] + x_3 [F_{dcC3} + F_{dcK3}] - x_4 [F_{dcC4} + F_{dcK4}] = 0 \quad (2.64)$$

*c. Phương trình cân bằng momen theo toạ độ suy rộng  $\theta_1$*

Các momen tác dụng với quy ước dấu có chiều dương cùng chiều với chiều quay của  $\theta_1$

- Momen quán tính:  $M_{qt3} = -J_{dcx} \cdot \ddot{\theta}_1 \quad (2.65)$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ nhất:

$$M_{dcC1} = y_1 \cdot C_{dc1} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_1 \cdot \varphi + y_1 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK1} = y_1 \cdot K_{dc1} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_1 \cdot \dot{\varphi} + y_1 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.66)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ hai:

$$M_{dcC2} = y_2 \cdot C_{dc2} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 - \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_2 \cdot \varphi + y_2 \cdot \theta \right)$$

$$M_{dcK2} = y_2 \cdot K_{dc2} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_2 \cdot \dot{\varphi} + y_2 \cdot \dot{\theta} \right) \quad (2.67)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ ba:

$$\begin{aligned} M_{dcC3} &= y_3 \cdot C_{dc3} \left( Z_1 + \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_3 \cdot \varphi + y_3 \cdot \theta \right) \\ M_{dcK3} &= y_3 \cdot K_{dc3} \left( \dot{Z}_1 + \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 + \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_3 \cdot \dot{\varphi} + y_3 \cdot \dot{\theta} \right) \end{aligned} \quad (2.68)$$

- Momen động cơ truyền từ vị trí bắt bu lông thứ tư:

$$\begin{aligned} M_{dcC4} &= y_4 \cdot C_{dc4} \left( Z_1 - \frac{L_{dc}}{2} \varphi_1 + \frac{B_{dc}}{2} \theta_1 - Z + x_4 \cdot \varphi + y_4 \cdot \theta \right) \\ M_{dcK4} &= y_4 \cdot K_{dc4} \left( \dot{Z}_1 - \frac{L_{dc}}{2} \dot{\varphi}_1 - \frac{B_{dc}}{2} \dot{\theta}_1 - Z + x_4 \cdot \dot{\varphi} + y_4 \cdot \dot{\theta} \right) \end{aligned} \quad (2.69)$$

Phương trình cân bằng momen theo tọa độ suy rộng  $\theta$ :

$$- J_{dcX} \ddot{\theta}_1 + y_1 \cdot [F_{dcC1} + F_{dcK1}] + y_2 \cdot [F_{dcC2} + F_{dcK2}] - y_3 [F_{dcC3} + F_{dcK3}] - y_4 [F_{dcC4} + F_{dcK4}] = 0 \quad (2.70)$$

Trên đây đã thiết lập được hệ phương trình vi phân toán học gồm 10 phương trình vi phân mô tả dao động của cơ hệ. Đây chính là hệ phương trình vi phân cơ sở để áp dụng mô phỏng bằng phần mềm Matlab-Simulink sẽ được trình bày ở phần sau.

### 2.3. Các yếu tố phi tuyến có thể có trong mô hình dao động.

#### 2.3.1. Các đặc tính phi tuyến.

Phần 2.2 ở trên đã trình bày mô phỏng tổng thể của ô tô hai cầu dạng không gian trên cơ sở mô hình toán học, mô tả qua hệ phương trình vi phân. Trong hệ thống dao động của ô tô nói chung có rất nhiều yếu tố phi tuyến vật lý như: đặc tính cản của giảm chấn, ma sát trong hệ thống treo, hiện tượng va đập, hiện tượng tách bánh cũng như các yếu tố phi tuyến hình học. Phần này sẽ trình bày một số yếu tố phi tuyến thường gặp trong quá trình nghiên cứu dao động của ô tô.

### 2.3.2. Phi tuyến do đặc tính động học của phần tử đàn hồi.

- Đối với xe du lịch và xe tải cỡ nhỏ có sử dụng hệ thống treo độc lập thì các phần tử đàn hồi là lò xo trụ hoặc thanh xoắn cũng có các đặc tính phi tuyến riêng của nó.

- Đối với xe buýt thì phần tử đàn hồi dạng balon khí hoặc phần tử đàn hồi thủy lực có đặc tính là hàm phi tuyến bậc cao.

- Đối với xe tải thì phần tử đàn hồi thường là nhíp lá, để cải thiện tính thích ứng của nhíp khi tải thay đổi, ở hệ treo sau người ta thường lắp thêm nhíp phụ hoặc ụ hạn chế nên đặc tính động học của phần tử đàn hồi có dạng phi tuyến (đường đặc tính bị gãy ở đường chuyển tiếp).

### 2.3.3. Phi tuyến do đặc tính động học của cơ cấu dẫn hướng:

Phần cơ cấu dẫn hướng của hệ thống treo thường là đòn (đối với xe con và xe du lịch). Nếu ta xem xét trường hợp tổng quát thì theo Uspenskii độ cứng được xác định bằng biểu thức sau:

$$C_{td} = P_{lx} \frac{d^2 f_{lx}}{ds_k^2} + \frac{dP_{lx}}{df_{lx}} \left( \frac{df_{lx}}{ds_k} \right)^2 + Q_{lx} \frac{d^2 f_{lx}}{ds_k^2} + \frac{dQ_{lx}}{dx_{lx}} \left( \frac{dx_{lx}}{ds_k} \right)^2 + M_{lx} \frac{d^2 \gamma_{lx}}{ds_k^2} + \frac{dM_{lx}}{d\gamma_{lx}} \left( \frac{d\gamma_{lx}}{ds_k} \right)^2$$

Trong đó:

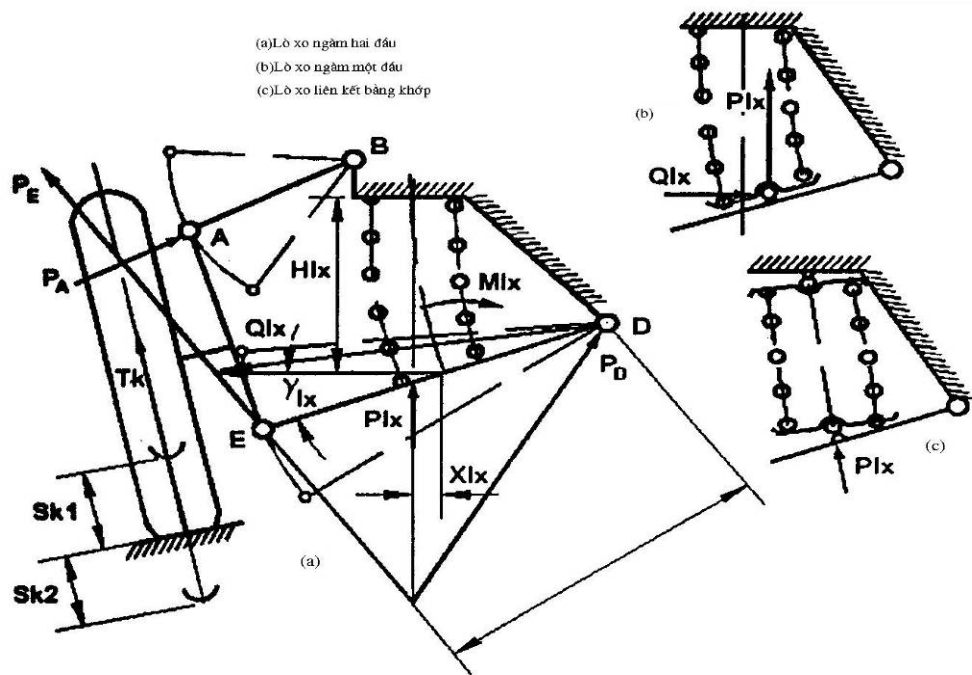
$s_k$ : là dịch chuyển thẳng đứng của khối lượng không được treo. (quy đổi về tâm bánh xe).

$P_{lx}, f_{lx}$ : tương ứng là lực tác dụng lên lò xo và biến dạng theo phương thẳng đứng của lò xo.

$Q_{lx}, X_{lx}$ : lực ngang tác động lên lò xo và dịch chuyển theo phương ngang của lò xo.

$M_{lx}, Y_{lx}$ : tương ứng là momen uốn tác động lên lò xo và góc xoay.

Trong trường hợp lò xo chỉ bị ngàm một đầu (trường hợp b) sẽ không có thành phần momen uốn, còn khi lò xo được liên kết bằng khớp (trường hợp c) trong công thức chỉ còn thành phần chứa lực  $P_{lx}$ .



**Hình 2.10.** Hệ treo 2 đòn ngang.

Như vậy trong mọi trường hợp độ cứng qui đổi của lò xo sẽ không phải là một hằng số mà là một hàm phụ thuộc vào dịch chuyển của khối lượng không được treo.

**2.3.4. Đặc tính phi tuyến của giảm chấn thủy lực.**

Trong các hệ thống treo của ô tô thì thành phần cản chủ yếu là giảm chấn thủy lực, trước kia do không có phương tiện mô phỏng nên coi đặc tính cản của giảm chấn là tuyến tính. Tuy nhiên trong giảm chấn thủy lực 2 chiều, hành trình làm việc của giảm chấn được chia ra làm bốn pha với hệ số cản khác nhau: nén mạnh, nén nhẹ, trả mạnh, trả nhẹ. Ta cũng có quan hệ của lực giảm chấn và vận tốc của piston giảm chấn là quan hệ hàm bậc hai. Do đó đặc tính cản của giảm chấn thủy lực chính là đặc tính phi tuyến với hàm bậc hai.

$F = V^2 \cdot k$       v: là vận tốc của dao động.

k: hệ số cản của giảm chấn.

### 2.3.5. Mô phỏng ma sát khô.

Dao động của ô tô được dập tắt bởi các dạng ma sát khác nhau trong hệ thống treo. Thường thì trong hệ thống treo ma sát xuất hiện ở các phần tử giảm chấn, phần tử đàn hồi hoặc trong các khớp của đòn treo, dẫn động lái và lớp xe. Bên cạnh lực cản của giảm chấn thuỷ lực thì trong một vài trường hợp đặc biệt chúng ta không thể bỏ qua giá trị cản do ma sát khô trong các khớp nối phần tử đàn hồi với khung vỏ xe xuất hiện trong quá trình dao động. Trong phần lớn các dạng cơ học thì ma sát được mô hình hoá dưới dạng ma sát khô. Cũng trong cơ học thì ma sát được đặc trưng bằng lực ngược chiều chuyển động và có độ lớn bằng tích số của lực pháp tuyến và hệ số ma sát. Đối với hệ động lực ma sát khô thường được coi là bằng hằng số có phương ngược chiều chuyển động. Cũng giống như ma sát nhớt thì nó là hàm của vận tốc, song khác với ma sát nhớt hàm đặc tính của ma sát khô nằm ngang.

Trong giới hạn luận văn thạc sỹ tác giả chỉ nghiên cứu nghiên cứu yếu tố phi tuyến của lớp và hệ số cản của hệ thống treo:

- Lực cản giảm chấn hệ thống treo vào vận tốc dao động được mô tả bằng phương trình:

$$F = \begin{cases} K_{tm} \cdot V^2 & \text{Khi } V \leq -0.3 \\ K_{tn} \cdot V^2 & \text{Khi } -0.3 < V \leq 0 \\ K_{nn} \cdot V^2 & \text{Khi } 0 < V \leq 0.3 \\ K_{nm} \cdot V^2 & \text{Khi } V > 0.3 \end{cases}$$

(2.71)

Từ các phương trình cân bằng lực, mô men tác (2.5), (2.10), (2.15), (2.20), (2.31), (2.41), (2.51), (2.58), (2.64), (2.70) và phương trình phi tuyến

(2.71) ta có hệ phương trình mô tả dao động của động cơ đốt trong gồm 10 phương trình với 10 hệ tọa độ suy rộng.

## **2.4. Nghiên cứu mấp mô mặt đường**

### **2.4.1. Các phương pháp định hàm kích động mặt đường**

Trong các bài toán khảo sát dao động của ô tô, khảo sát dao động ghế ngồi, tính toán tải trọng động tác động lên các cụm của hệ thống truyền lực ô tô, các hệ thống khác của ô tô... thì hàm kích mặt đường có thể được mô tả bằng 3 phương pháp chính dưới đây:

- Mô tả mấp mô mặt đường bằng các hàm điều hoà: thường mô tả mấp mô biên dạng của đường bằng các hàm điều hoà là các hàm số sin hoặc cosin. Phương pháp này đã được nhiều tác giả áp dụng trong các bài toán như: đánh giá chất lượng êm dịu chuyển động ô tô, nghiên cứu các thông số kết cấu của ô tô, kết cấu của hệ thống treo, kết cấu của lốp xe... ảnh hưởng đến độ êm dịu chuyển động của ô tô. Tuy nhiên phương pháp này chưa mô tả chính xác biên dạng mấp mô mặt đường thực tế do vậy kết quả của các bài toán chưa đạt độ chính xác cao.

- Mô tả mấp mô mặt đường bằng các hàm nội suy: phương pháp này dùng các hàm nội suy tuyến tính, nội suy bậc, nội suy đa thức Lagrange hoặc Splain bậc 2, bậc 3. Đối với phương pháp này các tác giả thường sử dụng nội suy đa thức Splain bậc 3 do nó cho phép làm trơn biên dạng thay thế ở các mốc nội suy và sai lệch giữa biên dạng thay thế và biên dạng thực là nhỏ nhất. Tuy nhiên phương pháp phức tạp, nhưng chưa mô tả chính xác biên dạng thực tế do vậy hiện nay ít dùng trong các bài toán dao động ô tô.

- Mô tả mấp mô mặt đường bằng các hàm ngẫu nhiên: trong thực tế các mấp mô mặt đường không tuân theo quy luật nào cả mà chúng hoàn toàn là các đại lượng ngẫu nhiên. Để xác định được các hàm ngẫu nhiên mấp mô mặt đường hiện nay người ta sử dụng các thiết bị đo mấp mô mặt đường như: thiết

---

bị trắc địa, thiết bị đo mấp mô mặt đường theo phương pháp tham chiếu tương đối của hãng General Motor, thiết bị đo mấp mô mặt đường bằng bánh xe số 5, thiết bị đo ARRB LASER PROFILER... Các thiết bị có thể tiến hành đo trực tiếp hoặc gián tiếp mấp mô mặt đường. Phương pháp đo trực tiếp tiến hành đo và ghi tọa độ chiều cao mấp mô mặt đường theo chiều dài đường còn phương pháp đo gián tiếp ghi các thông số dưới dạng mật độ phổ.

Phương pháp mô tả mấp mô mặt đường bằng hàm ngẫu nhiên mô tả biên dạng đường sát với thực tế. Trong luận án này chúng tôi chọn hàm kích động mặt đường là hàm ngẫu nhiên

#### 2.4.2. Cơ sở lý thuyết hàm ngẫu nhiên

##### a, Các đại lượng đặc trưng cho hàm ngẫu nhiên

Hàm ngẫu nhiên  $q(t)$  là một hàm mà giá trị của nó thời điểm  $t_i$  hoặc quãng đường  $s_i$  là một đại lượng ngẫu nhiên. Có thể biểu diễn hàm ngẫu nhiên tổng quát dưới đây:

$$q(k,s) \begin{cases} -\infty < s < +\infty \\ k = 1, 2, \dots, \infty \end{cases} \quad (2.73)$$

Trong đó:  $k$  – chỉ số phép thử thứ.

Hàm ngẫu nhiên có thể đặc trưng bởi các đại lượng như: tung độ trung bình của các mấp mô hoặc kỳ vọng toán học, độ lệch quân phương hoặc phương sai của tung độ, các hàm tương quan, hàm mật độ phổ.

\* *Kỳ vọng toán học*: là đặc trưng quan trọng nhất về vị trí biến ngẫu nhiên và được xác định bằng công thức dưới đây:

$$Eq = \sum_{i=1}^K q_i P_i \quad (2.74)$$

Trong đó:  $Eq$ - kỳ vọng toán học hoặc giá trị tung độ trung bình của các mấp mô mặt đường.

$K$ - số lượng các giá trị đo đạc.



$q_i$ - giá trị độ cao mấp mô tại điểm đo thứ  $i$ .

$P_i$ - xác suất xuất hiện độ cao mấp mô thứ  $i$ .

Trong trường hợp này coi xác suất xuất hiện các mấp mô là như nhau do vậy:  $P_1=P_2=\dots=P_K=1/K$  khi đó công thức (3-106) có thể viết lại như sau:

$$Eq = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K q_i \quad (2.75)$$

\* *Phương sai*: là vọng số của bình phương độ lệch. Phương sai đặc trưng cho độ tản mát của biến ngẫu nhiên xung quanh vọng số. Phương sai càng bé thì giá trị của biến ngẫu nhiên càng quy tụ gần vọng số, phương sai được xác định theo công thức dưới đây:

$$DY = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (q_i - Eq)^2 \quad (2.76)$$

Trong đó:  $DY$ - phương sai các mấp mô.

Khai căn bậc phương sai được gọi là độ lệch quân phương của biến ngẫu nhiên.

\* *Hàm phân bố (hàm phân bố xác suất)*: của một biến ngẫu nhiên là một hàm được định nghĩa như sau:

$$F_k(q_1, q_2, \dots, q_k; t_1, t_2, \dots, t_k) = P\{Q_1 \leq q_1 \cap, \dots, \cap Q_k \leq q_k\} \quad (2.77)$$

*b, Quá trình ngẫu nhiên dừng*

Trong thực tế thường xuất hiện các quá trình mà theo thời gian gần như không đổi và có các dạng sóng ngẫu nhiên. Các đặc tính của sóng đó theo thời gian cơ bản là đồng nhất. Quá trình như vậy được gọi là quá trình dừng. Từ định nghĩa giá trị trung bình, phương sai và những tính chất của quá trình dừng có thể nhận thấy: giá trị trung bình và phương sai không phụ thuộc vào thời gian. Có nghĩa là:

$$Eq = \text{const.}$$

$$DY = \text{const.}$$

Hàm tương quan là một hàm chỉ duy nhất một biến  $\tau=t_2-t_1$ .

$$R(t_1, t_2) = R(\tau) \quad (2.78)$$

Quá trình thảo mãn hai tính chất trên được gọi là quá trình ngẫu nhiên dừng.

*c, Hàm ngẫu nhiên Ergodic*

Ergodic là một tính chất của quá trình ngẫu nhiên dừng. Tính chất đó biểu hiện như một sự ổn định của từng vọng số đạt được trong nhiều lần thử và vọng số theo thời gian của phép thử nghiệm trong quá trình đó. Tính chất này giúp cho ta có khả năng dự đoán các đặc tính thông kê từ một thử nghiệm đầy đủ.

Có thể hiểu tính chất Ergodic theo khái niệm lấy trung bình theo tập hợp các thể hiện và lấy trung bình theo thời gian của một thể hiện. Ta có  $E_q$  giá trị trung bình của nhiều thể hiện hoặc trung bình theo tập hợp.

$$E_q = E[q] = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K q_i(t) \quad (2.79)$$

Giá trị trung bình theo thời gian của một thể hiện  $q(t)$  của quá trình được định nghĩa như sau:

$$\bar{E}_q = \frac{1}{T} \int_0^T q(t) dt \quad (2.80)$$

Nếu  $E_q = \bar{E}_q$  thì quá trình được gọi là Ergodic.

Kết luận: trong thực tế ta chỉ cần xác định các giá trị trung bình theo thời gian, không cần thiết phải xác định các giá trị trung bình trong nhiều lần thử. Chính vì lý do này ta nhận thấy đặc tính dừng là điều kiện cần thiết của Ergodic.

### 2.4.3. Chọn hàm kích động ngẫu nhiên mặt đường

Như phần trên đã trình bày mấp mô mặt đường không tuân theo một quy luật nào cả, nó là hàm ngẫu nhiên. Hiện này có rất nhiều tác giả trong

nước và thế giới nghiên cứu về vấn đề này. Trong phạm vi của luận án thạc sỹ chúng tôi không nghiên cứu phần mặt đường mà chỉ sử dụng kết quả nghiên cứu của một đề tài cấp bộ B2003-35-42 của tác giả Đào Mạnh Hùng. Trong đề tài này tác giả sử dụng thiết bị ARRB LASER PROFILER. Thiết bị ARRB là thiết bị đo mấp mô mặt đường với tốc độ cao mà không phải định chuẩn do đó không mất số và rất thuận tiện cho người sử dụng. Số liệu đo đạc được lưu trữ trong các phần mềm hiện đại, ngoài ra thiết bị này còn đo được liên tục, đồng thời đo được độ nhám vĩ mô của mặt đường tại các vết bánh xe. Thiết bị này đang có tại Viện khoa học công nghệ GTVT và nó là thiết bị đo mấp mô hiện đại nhất hiện nay ở nước ta.

Quy trình đo mấp mô của thiết bị ARRB:

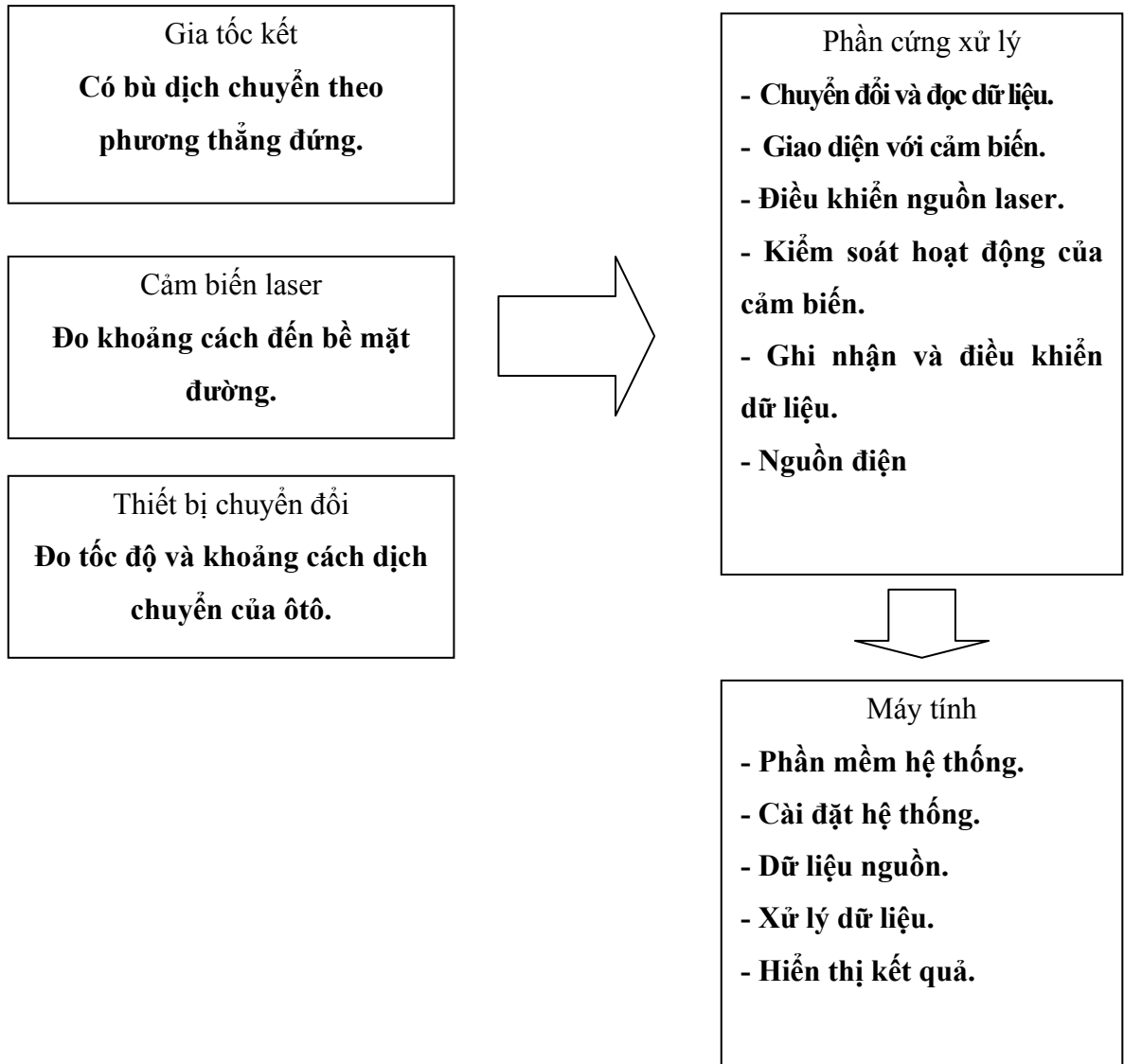
- Lắp thiết bị.
- Cài đặt phần mềm hệ thống.
- Định chuẩn hệ thống.
- Định chuẩn cảm biến khoảng cách.
- Định chuẩn cảm biến laser.
- Định chuẩn cảm biến gia tốc.
- Điều chỉnh vị trí cảm biến laser
- Kiểm tra và điều chỉnh phần cứng thu nhận số liệu.
- Kiểm tra trạng thái tĩnh và xung (Still and Bounce Test).
- Kiểm tra đo thử độ sâu (Rut Measurement Check).
- Tiến hành đo đạc trên đường.
- Xem và in dữ liệu.

Phần mềm sử dụng cho hệ thống: RoadRup “The University of Michigan Transportation” số liệu nhận được:

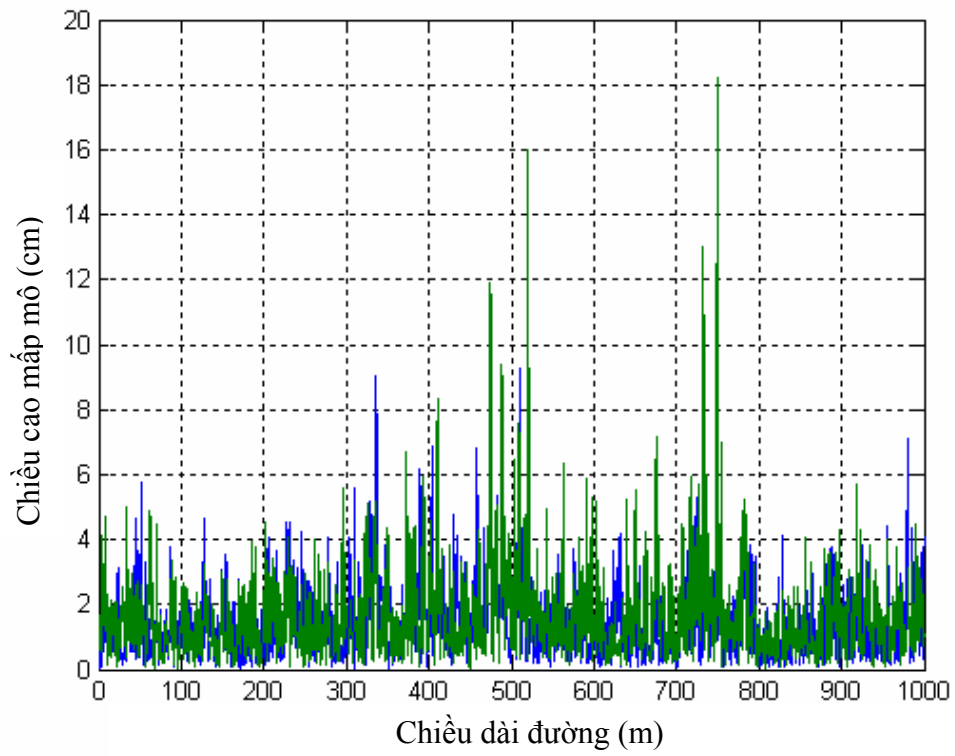
- Phần nguồn: ghi lại các giá trị cao độ so với độ cao tiêu chuẩn với cự ly 200 mm.
-

- Tùy theo mục đích sử dụng có thể nhận được các giá trị IRI hoặc mật độ phổ biên độ tần số biên dạng mặt đường.

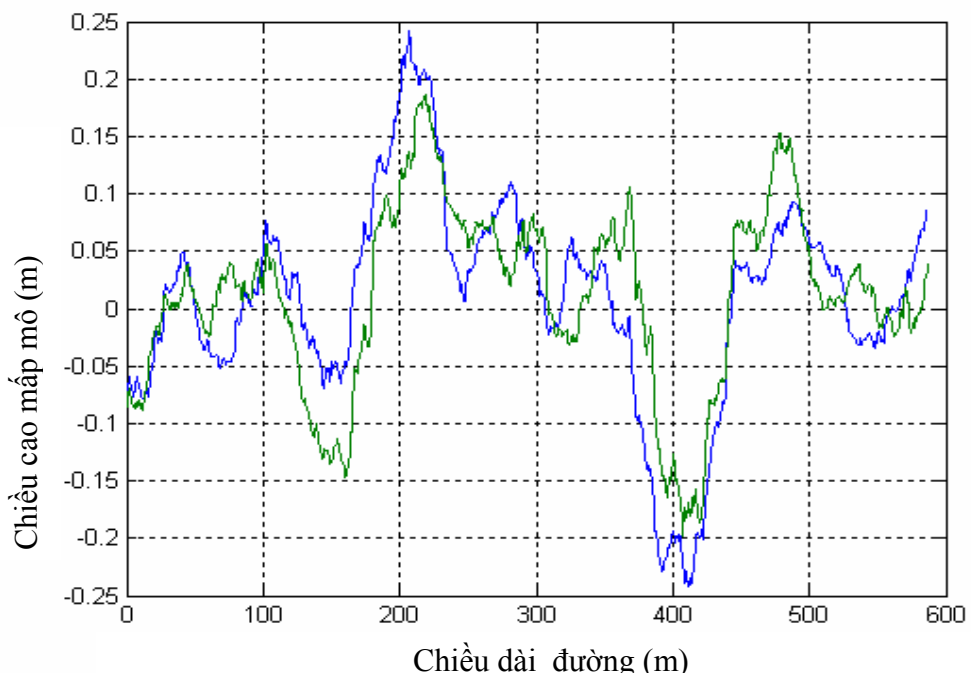
Cấu trúc của thiết bị ARRB LASER PROFILER:



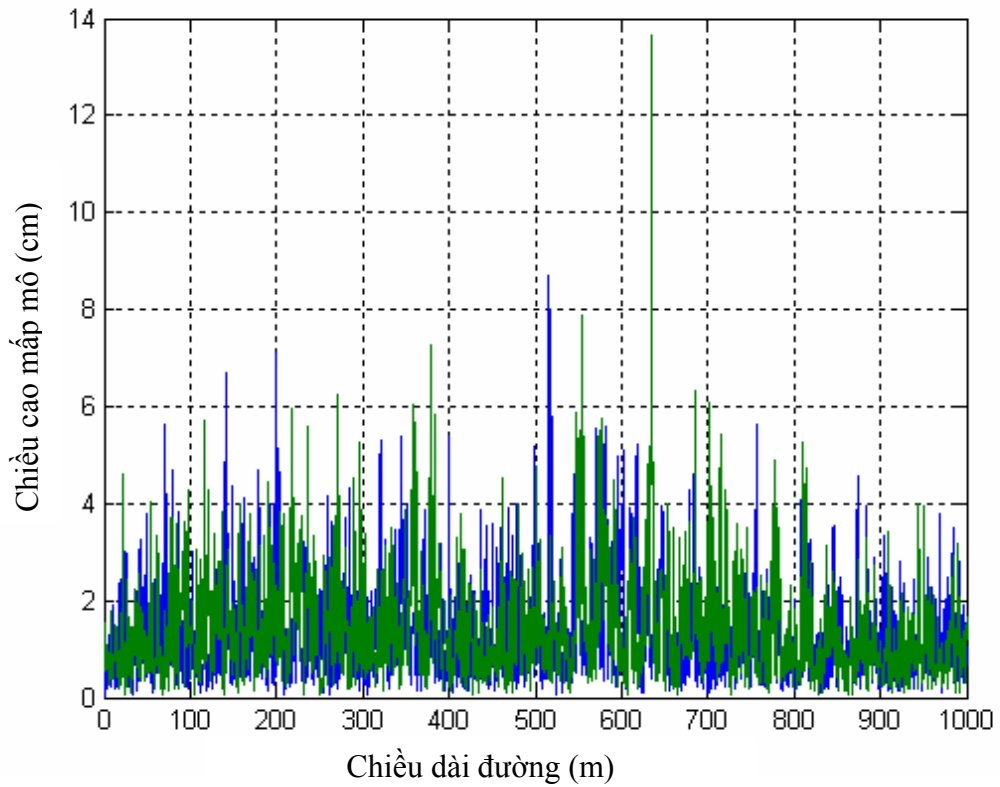
\* Một số kết quả đo [11] trên các đoạn khác sử dụng trong luận án:



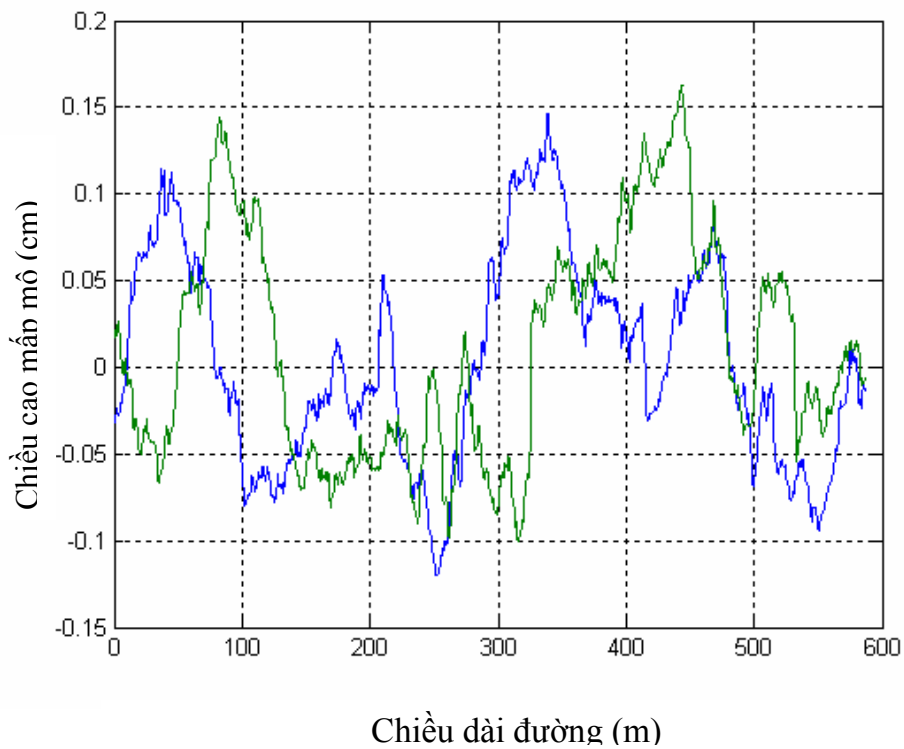
**Hình 2.11.** Kết quả đo mấp mô mặt đường quốc lộ 1A (đoạn 1)



**Hình 2.12.** Kết quả đo mấp mô đã qua xử lý (đoạn 1).



**Hình 2.13.** Kết quả đo mấp mô mặt đường quốc lộ 1A (đoạn 2)



**Hình 2.14.** Kết quả đo mấp mô đã qua xử lý (đoạn 2).