

Thiết kế 3D khung xe điện chở hàng bằng ứng dụng phần tử hữu hạn

3D design of electric light truck's frame using FEM

Nguyễn Thanh Quang*, Vũ Hải Quân, Bùi Văn Đại

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

**Email: nguyenthanhquang@hau.edu.vn*

Mobile: 0903404601

Tóm tắt

Từ khóa:

Khung xe điện, Thiết kế 3D, FEM.

Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết và tính toán mô phỏng để thiết kế khung xe điện có tải trọng đến dưới 500kg. Các nội dung nghiên cứu được thực hiện bằng ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) và sử dụng phần mềm chuyên dụng ANSYS Workbench. Các kết quả thu được đã xây dựng bản vẽ thiết kế 3D khung xe điện để làm dữ liệu của bài toán và phần mềm PTHH. Phân tích cấu trúc kiểu phần tử, đặc tính phần tử và số nút khi chia lưới, dạng tải trọng tác dụng sử dụng trong kết cấu. Phân tích, đánh giá và lựa chọn giải pháp kỹ thuật về kết cấu theo các chỉ tiêu độ bền của khung xe điện. Các kết quả nghiên cứu sẽ giúp người sử dụng lựa chọn kết cấu hợp lý trong thiết kế khung xe điện.

Abstract

Keywords:

Electric Frame; 3D Design; FEM.

This article presents the theoretical basis and simulation calculations for the design of electric vehicle frame with a load of less than 500kg. The research was carried out using the Finite Element Method (FEM) and using the ANSYS Workbench specialized software. Through the obtained results, a 3D drawing of the electric vehicle frame was established to provide data for the problems and the FEM software. The following analyses were carried out: structure analysis based on the element types, the element properties and the number of nodes when meshing; the analyses of types of load applied to the structure; analysis, evaluation and selection of structural engineering solutions according to the durability criteria of the electric vehicle frame. The research results will help users choose the appropriate structure in frame designing.

Ngày nhận bài: 04/07/2018

Ngày nhận bài sửa: 08/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Với ưu điểm về sự phát thải khí ô nhiễm ra môi trường không có nên ô tô điện ngày càng được chú trọng trong chế tạo. Trong khai thác sử dụng đã thấy rõ những lợi ích của ô tô điện (EV). Do cấu trúc ô tô điện khác với ô tô sử dụng động cơ đốt trong truyền thống bằng cách sử dụng động cơ điện và các bình điện và hệ thống điều khiển tự động hóa nên công nghệ chế tạo ô tô điện khác

nhieu so với ô tô truyền thống. Một trong những điểm khác biệt đó là cấu trúc khung vỏ xe điện cần bố trí sàn xe thấp do hệ thống truyền lực có thể bố trí nhỏ gọn hơn và cần việc lắp đặt động cơ điện, các bình điện được thuận tiện, tháo lắp dễ dàng [1].

Xe điện chở hàng thuộc loại xe ô tô điện. Đặc điểm hoạt động của xe là giao hàng ở trung tâm thành phố, nơi dân cư đông đúc, đường chật hẹp nên người lái xe thường xuyên giảm ga và sử dụng phanh cũng như khởi động xe. Yêu cầu về thiết kế xe điện chở hàng cần đồng bộ hóa các cụm, chi tiết giữa hệ thống khung vỏ, hệ thống động lực điện, hệ thống bình điện và hệ thống điều khiển tự động hóa. Để đảm bảo yêu cầu cấu trúc xe điện chở hàng, kết cấu khung vỏ xe được thiết kế dạng khung và vỏ xe chịu lực và cũng đảm bảo yêu cầu giới hạn tổng trọng lượng xe.

2. CƠ SỞ THIẾT KẾ KHUNG XE

2.1. Các yêu cầu thiết kế

Các thiết bị trên xe điện là loại đắt tiền và khó chế tạo (hiện nay ở Việt Nam phải nhập khẩu 100%) và được lắp chặt với thân xe. Vì vậy thiết kế khung xe điện cần đảm bảo những yêu cầu cơ bản sau:

- Không bị ảnh hưởng của tải trọng từ mặt đường hoặc tải chuyên chở trên xe đến các thiết bị điện. Không bị ảnh hưởng của động cơ điện khi làm việc sẽ gây ra rung xe. Muốn vậy trong thiết kế cần tránh tần số cộng hưởng giữa tần số lực kích thích của mặt đường, lực kích thích từ động cơ điện và tần số dao động riêng của khung xe.
- Đảm bảo độ cứng vững khung xe khi tần số sử dụng phanh, lái, khởi hành xe nhiều hơn ở trong thành phố nhưng không được tăng trọng lượng xe bằng cách lắp thêm các thanh hoặc dầm tăng cứng.
- Khung xe sau thiết kế và chế tạo cần được thử nghiệm trên một số lượng mẫu nhất định để đánh giá về chất lượng độ bền và độ ổn định cấu trúc (yêu cầu này không trình bày trong bài báo này).

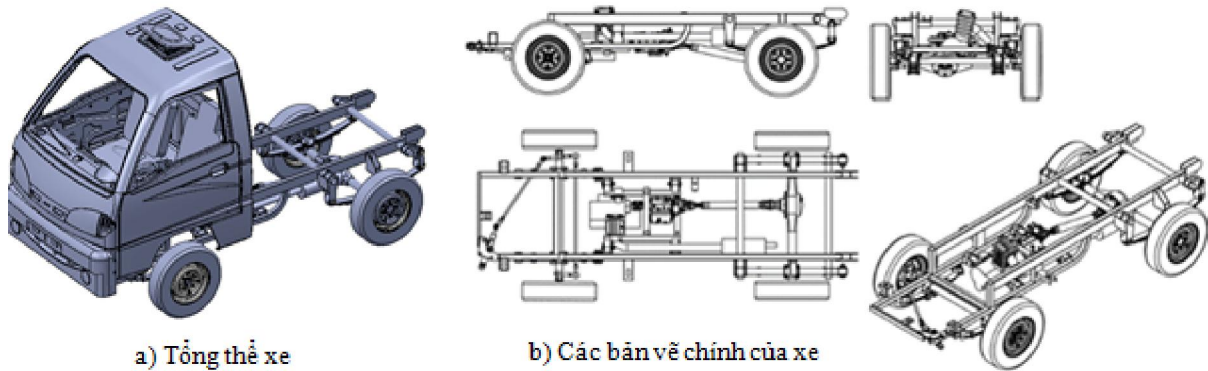
2.2. Xây dựng bản vẽ thiết kế

Việc tiếp cận thiết kế có thể theo mẫu sẵn có đảm bảo các yêu cầu về quản lý cho xe có thể lưu hành giao thông được, trong bài báo này sử dụng mẫu xe Exotic của công ty T&T Việt Nam chế tạo. Một gợi ý cho người thiết kế khung xe điện chở hàng nên tuân theo thông tư 16/2014/TT-BGTVT [2]. Bản vẽ thiết kế cần tối ưu các phần tử chính tạo nên cấu trúc tổng thể khung xe. Trước tiên thể hiện tối thiểu 4 bản vẽ tỷ lệ 1/5 các hình chiếu chính diện trước, cạnh, sau và hình chiếu bằng. Các vị trí trên khung cần có những mặt cắt thể hiện rõ ràng và chi tiết. Trên các hình chiếu và mặt cắt thể hiện đầy đủ kích thước và dung sai của kích thước, cấu trúc lắp ghép các dầm chính, dầm phụ và các chi tiết cấu thành khung xe.

Dựa vào cấu trúc trên xe mẫu đã chọn, trước tiên cần xác định tâm lắc ngang trước và sau của xe bằng cách phân tích cấu trúc hệ thống treo sau, các thanh nối. Xác định tâm lắc nhằm tính toán vị trí lắp đặt các cụm động cơ điện, các bình điện và những thiết bị khác. Có thể dịch chuyển vị trí lắp đặt cầu trước và cầu sau để giảm lắc ngang thân xe nhưng vẫn đảm bảo khoảng cách giữa hai cầu xe trước và sau. Việc dịch chuyển này cần tính toán kiểm nghiệm độ bền khung xe sao cho biến dạng uốn, xoắn và chuyển vị theo phương dọc, phương ngang là nhỏ nhất. Độ cứng xoắn được xác định giữa cầu trước và cầu sau, khung xe tốt nhất thì độ cứng xoắn nằm trong giá trị 6100 Nm/độ đến 7500 Nm/độ. Chuyển vị của khung xe nằm trong giới hạn không vượt quá 1,27 mm khi tải trọng đến 680 kg (chế độ tải trọng đến 136% tải) [2].

Việc tiếp theo là xác định vị trí ghế ngồi của người lái và ghế cho người lái phụ từ đó bố trí lắp đặt hệ thống điều khiển lái, điều khiển phanh. Bước tiếp theo là thiết kế đặt cụm cabin và cụm thùng xe.

Tổng thể thiết kế xe điện chở hàng lựa chọn trên mẫu xe cơ bản hiện có Exotic được trình bày trên hình 1.



Hình 1. Bản vẽ thiết kế xe điện chở hàng

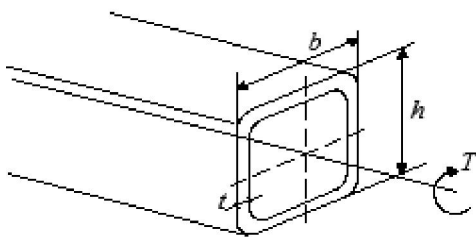
3. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN THIẾT KẾ KHUNG XE

3.1. Giới thiệu phương pháp phần tử hữu hạn

Chia cấu trúc khung xe ra thành hữu hạn những phần nhỏ, những phần tử nhỏ này liên kết với nhau bằng các điểm nút, đường nối các điểm nút đó tạo nên các lưới. Số lượng, kích thước các phần tử và lưới sẽ tùy thuộc vào cấu trúc chi tiết. Trên những phần cấu trúc lớn như bề mặt khung chính có thể chia lưới thô hơn những phần cấu trúc nhỏ. Loại phần tử sử dụng chia lưới bề mặt khung dầm phổ biến là loại phần tử tam giác và tứ giác, loại phần tử tam diện hoặc tứ diện sẽ được sử dụng khi chia lưới không gian kết cấu khung dầm. Hệ phương trình mô tả kết cấu dạng ma trận được xây dựng cho kết cấu gồm có ma trận khối lượng, ma trận độ cứng và ma trận tải. Giải hệ phương trình này xác định được giá trị ứng suất, biến dạng và chuyển vị của khung xe gọi là phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH). Phương pháp giải là nhờ sử dụng máy tính với phần mềm phần tử hữu hạn Ansys Workbench.

3.2. Các thông số cơ bản của khung xe

Từ bản vẽ thiết kế 3-D trong phần mềm Siemens NX, cho thấy kết cấu khung xe chủ yếu dạng hộp chữ nhật. Kích thước mặt cắt ngang khung hộp dầm được tính toán theo phương trình cân bằng lực đối với dầm chịu xoắn tại mặt cắt ngang hình hộp chữ nhật, hình 2. Các giá trị tính toán của dầm được biểu diễn bởi phương trình (1), (2) và (3).



Hình 2. Góc xoắn mặt cắt ngang hộp dầm

$$\varphi_{xy} = \frac{T(b+h)}{2Gb^2h^2t} \quad (1)$$

$$\tau_{xy} = \frac{T}{2bht} \quad (2)$$

$$J_{xy} = \frac{2b^2h^2}{b+h} \quad (3)$$

Trong đó φ_{xy} , τ_{xy} , J_{xy} là góc xoắn, ứng suất mặt cắt ngang trung bình và hệ số độ cứng xoắn của dầm trong mặt phẳng Oxy; T là giá trị mô men xoắn; G là mô đun chống xoắn, b , h , t là các kích thước hình học của hộp dầm.

Theo phương pháp PTHH, độ cứng của dầm dọc được xác định bởi phương trình (4).

$$K_1 = \frac{(EI_{zz}/l)_1}{(EI_{zz}/l)_1 + (EI_{zz}/l)_2} \quad (4)$$

E là mô đun đàn hồi của vật liệu; l là kích thước chiều dài của dầm; chỉ số 1 và 2 tương ứng với dầm bên trái và bên phải; I_{zz} là mô men quán tính mặt cắt ngang đối với trục z của dầm và xác định bằng công thức (5).

$$I_{zz} = \frac{(b+t)(h+t)^3 - (b-t)(h-t)^3}{12} \quad (5)$$

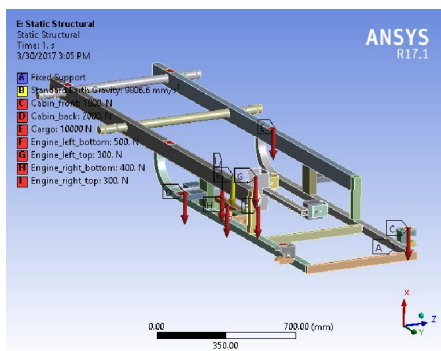
3.3. Phân tích tĩnh thiết kế khung xe

Phân tích tĩnh xác định phản ứng và phương thức theo kích thích tĩnh được thực hiện trên mô hình phần tử hữu hạn đã xác định. Ma trận độ cứng tổng thể $[K]$ khung xe được xác định bởi công thức (6), [1,75].

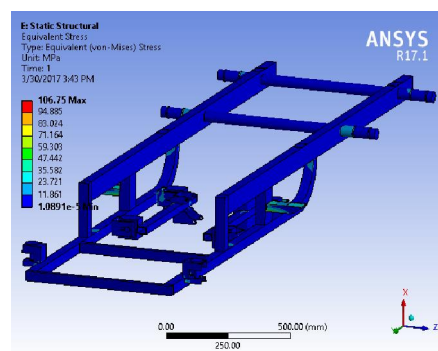
$$[R] = [K] \times [r] \quad (6)$$

Ở đó, $[R]$ và $[r]$ là các ma trận lực nút và chuyển vị nút trên tất cả các dầm của khung.

Sử dụng phần mềm PTHH Ansys Workbench với phiên bản sẵn có, cấu trúc khung xe ở trạng thái chịu tải trọng tĩnh được phân tích theo các bước sau đây. Trước tiên thực hiện Model mô hình bằng cách cập nhật mô hình 3-D khung xe trong mô đun Gometry, tiếp theo tiến hành chia lưới trong phần mềm, chọn kích thước lưới 5 mm với hai loại phần tử chính là loại tam diện và tứ diện 3 chiều, thực hiện bước đặt các điều kiện biên là các ràng buộc tại vị trí treo giảm chấn và các tải trọng. Sự khác biệt giữa các trường hợp phân tích được coi là nằm trong giá trị tải trọng áp dụng và điều kiện biên. Các giá trị tải đặt tại các quang treo nhíp trước, sau và tải trọng của xe từ thùng hàng, động cơ điện, khối bình điện và cabin [3]. Kết quả của bước giải nhận được các giá trị ứng suất, biến dạng và chuyển vị trên khung xe, hình 3.



a) Đặt các điều kiện biên và tải trên mô hình



b) Giải tìm ứng suất biến dạng khung xe

Hình 3. Kết quả các bước tiến hành phân tích FEM khung xe

3.4. Phân tích động học thiết kế khung xe

3.4.1. Lực kích thích từ mặt đường

Lực kích thích từ mặt đường dạng loại III trong mô hình mặt đường theo lý thuyết Pawloski [4], chiều cao mấp mô trung bình 50 mm cho loại đường xe điện chạy phổ biến trong thành phố. Các thông số mặt đường gây ra lực kích thích nêu trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số lực kích thích từ mặt đường

Vị trí lực kích thích	Biên độ (m)	Tần số (rad/sec)	Phase (rad)
Lực trên bánh xe trước trái	0.05	5	0
Lực trên bánh xe trước phải	0.05	1	Pi/2
Lực trên bánh xe sau trái	0.05	5	Pi/2
Lực trên bánh xe sau phải	0.05	1	0

3.4.2. Lực kích thích từ động cơ điện

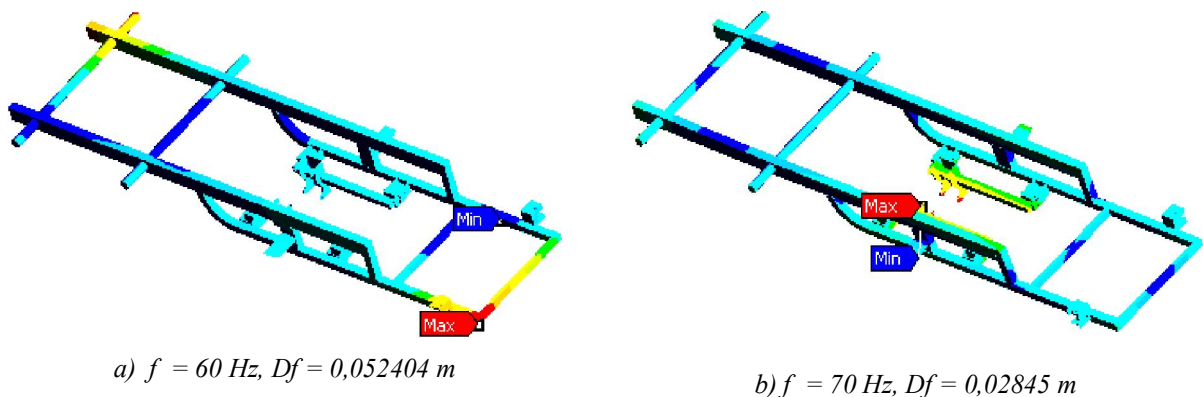
Khi động cơ điện trên xe hoạt động sẽ tạo ra lực kích thích lên khung xe với tần số xác định theo phương trình (7)

$$f_e = i_g \frac{n_v}{60} N_r = i_g \frac{\omega}{2\pi} N_r \approx i_g \frac{v}{2\pi R_e} N_r = i_g \frac{v_{(km/h)}}{2\pi R_e} \frac{N_r}{3.6} \quad (7)$$

Trong đó, i_g là tỷ số truyền hộp số, n_v là tốc độ động cơ điện (RPM), R_e là bán kính bánh xe, $v_{(km/h)}$ là vận tốc xe. Trên xe điện này, tốc độ quay định mức của động cơ điện là 30-2000 RPM. Tần số kích thích do động cơ điện gây ra theo vận tốc xe chạy và thường xảy ra trong phạm vi 30-80km/h, tùy thuộc vào tỷ số truyền khác nhau, tần số kích thích có thể nằm trong phạm vi 30-80Hz, dễ dàng gây cộng hưởng có hại đến độ êm dịu của xe [5].

3.4.3. Kết quả phân tích

Khi xe di chuyển trên đường, các lực kích động từ mặt đường lên lớp xe, truyền qua hệ thống treo và tác dụng vào khung xe cộng với lực kích thích từ động cơ điện sẽ gây ra rung xe. Sử dụng phần mềm Ansys Workbench với module Hanomic Response phân tích phản ứng trên chassis xác định các giá trị ứng suất và biến dạng.



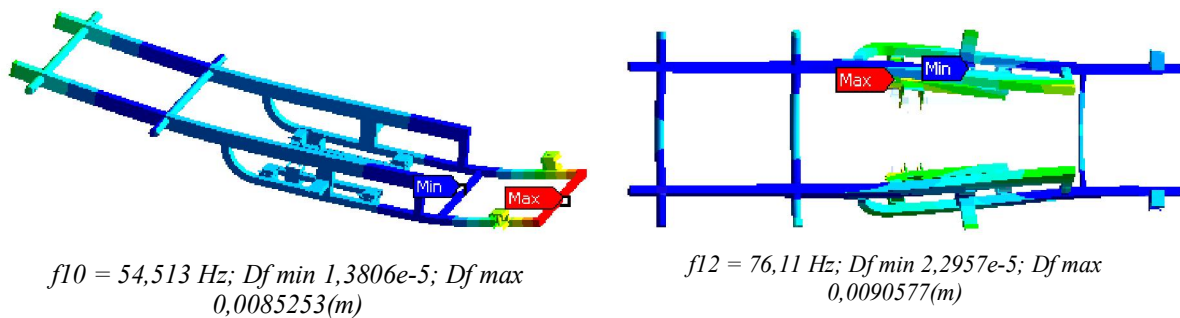
Hình 4. Kết quả phân tích ảnh hưởng của lực kích thích đến biến dạng khung xe

Tải trọng của xe gồm trọng lượng của xe, trọng lượng của hai người ngồi trong cabin, trọng lượng của động cơ và trọng lượng của hàng hóa (500 kg). Điều kiện ràng buộc đặt theo hướng

dịch chuyển và theo chiều thẳng đứng tại quang treo sau của nhíp trước và sau. Hình 4.a là độ võng và ứng suất ở tần số 60Hz, chuyển vị lớn nhất tại điểm nút góc trên phải của khung là 0,052404 mét. Khi tần số tăng lên 70Hz, vị trí chuyển vị thay đổi đến vị trí đặt động cơ điện và có giá trị cực đại là 0,02845 mét. Bằng phương pháp này khảo sát được chuyển vị ở tất cả các tần số của lực kích động lên khung.

3.5. Kiểm tra tần số cộng hưởng khung xe

Xác định tần số cộng hưởng khi tần số dao động riêng gần hoặc trùng với tần số lực kích động. Sử dụng module Modal trong phần mềm Ansys Workbench khảo sát với 20 dạng riêng ta nhận được dãy tần số tương ứng được biểu thị trên hình 5 cho hai trường hợp tại dạng riêng thứ 10 có tần số 54,513 Hz, chuyển vị nhỏ nhất có giá trị là $1,3806e-5$ (m) và chuyển vị lớn nhất có giá trị là 0,0085253 (m); tại dạng riêng thứ 12 có tần số 76,11 Hz, chuyển vị nhỏ nhất có giá trị là $2,25957e-5$ (m) và chuyển vị lớn nhất có giá trị là 0,0090577 (m). Bằng cách tương tự ta trình bày đầy đủ 18 trường hợp khác.



Hình 5. Ứng suất và biến dạng trên khung xe

4. KẾT LUẬN

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích tĩnh và phân tích động thiết kế khung xe điện chở hàng. Trong phân tích tĩnh đã xác định được kết cấu nào phù hợp theo chuyển vị, phân bố ứng suất, phân bố ứng suất Von-Mises. Phân tích động xác định được tần số dao động riêng của khung xe, xác định tần số lực kích thích mặt đường, tần số lực kích thích từ động cơ điện lên khung xe; kết quả yêu cầu thay đổi hoặc có thể là vật liệu tránh cộng hưởng làm rung thân xe.

Các kết quả của nghiên cứu làm căn cứ thiết kế khung xe điện có kết cấu hợp lý, bố trí tối thiểu các thanh dầm, đảm bảo được yêu cầu giới hạn trọng lượng xe không bị tăng thêm và xe chuyển động êm dịu khi động cơ điện làm việc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. John Fenton, 1996. *Handbook of Vehicle Design Analysis*. Society of Automotive Engineers, Inc. Warrendale, Pa., USA.
- [2]. Thông tư 16/2014/TT-BGTVT ngày 1/5/2014. *Quy định về điều kiện đối với xe chở hàng bốn bánh có gắn động cơ và người điều khiển tham gia giao thông đường bộ*.
- [3]. K. Santa Rao, G. Musalaiah and K. Chowdary, 2016. *Finite Element Analysis of a Four Wheeler Automobile Car Chassis*. Indian Journal of Science and Technology, Vol 9(2).
- [4]. J. Pawloski, 1970. *Vehicle Body Engineering*. Century Publishing.
- [5]. Wei SUN, Yinong LI, Guangzhong XU, Nong ZHANG, 2014. *Vibration Control of In-Wheel SRM for Electric Vehicle Applications*. Inter.noise 2014, Melbourne Australia 16-19 November.