



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0004034

(51) **F16F 15/00**
2024.01

(13) **Y**

(21) 2-2024-00356

(22) 15/11/2018

(67) 1-2018-05120

(45) 25/03/2025 444

(43) 27/05/2019 374A

(71) **TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỆN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)**

Lô D26 Khu đô thị mới cầu Giấy, phường Yên Hòa, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

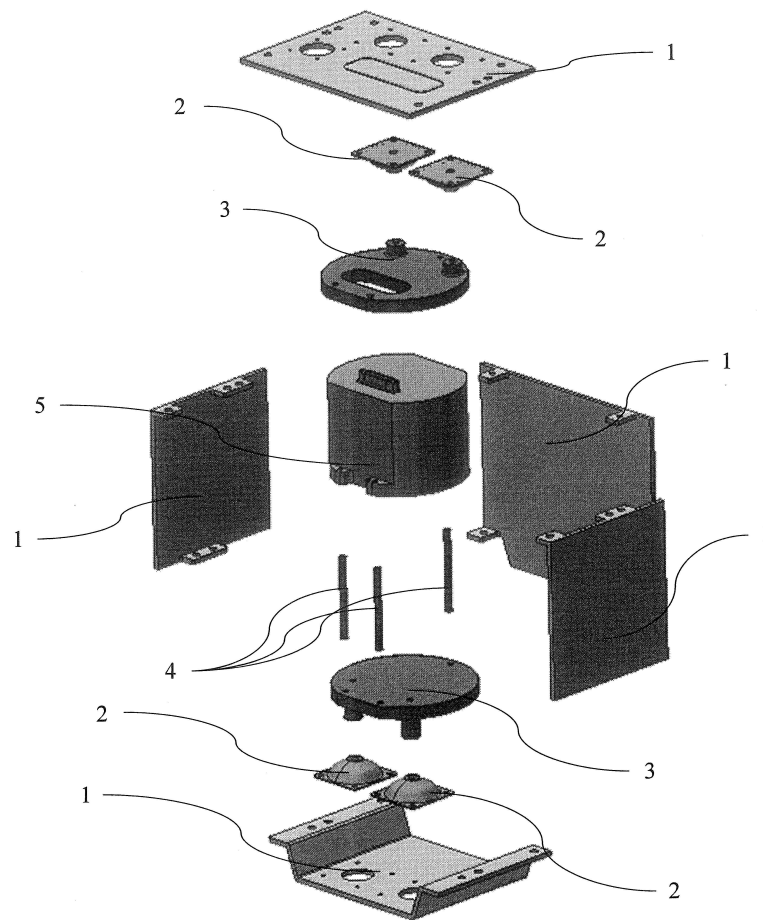
(72) Nguyễn Văn Sự (VN); Trần Hùng Cường (VN); Vũ Trọng Đại (VN); Nguyễn Huy (VN); Phạm Văn Quyền (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) **HỆ THỐNG CHỐNG RUNG BỊ ĐỘNG CHO KHỐI CẢM BIẾN QUÁN TÍNH
IMU CỦA CÁC KHÍ CỤ BAY**

(21) 2-2024-00356

(57) Sáng chế đề cập đến hệ thống chống rung bị động cho khối cảm biến quán tính IMU của các khí cụ bay, cụ thể là đề xuất một hệ thống chi tiết của cơ cấu này bao gồm các bộ phận chính: bốn chi tiết chống rung, quả nặng căn chỉnh trọng tâm, đồ gá liên kết quả nặng và khối cảm biến quán tính.



Hình 3

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến hệ thống và quy trình thiết kế hệ thống chống rung trên sự kết hợp giữa tính chất của vật liệu được sử dụng, tính chất và cơ chế hoạt động của khối cảm biến quán tính IMU, phân tích tín hiệu để tối ưu hóa vị trí của khối cảm biến quán tính IMU trên hệ thống. Sáng chế được ứng dụng trong lĩnh vực hàng không.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các chi tiết chống rung đã được ứng dụng từ lâu và rộng rãi trong các lĩnh vực công nghiệp như chế tạo, máy xây dựng, ô tô như giảm chấn cho động cơ xe, máy xây dựng. Các chi tiết chống rung thường có hình dáng khác nhau và vật liệu khác nhau tùy vào mục đích sử dụng trong công nghiệp nặng hoặc công nghiệp nhẹ. Điểm chung của các chi tiết chống rung là không cứng, với lý do là chịu biến dạng để hấp thụ lực từ rung xóc trong quá trình hoạt động của máy. Tuổi thọ tối đa của các chi tiết chống rung phụ thuộc vào môi trường hoạt động, do đó có thể tùy chọn vật liệu sử dụng trong từng trường hợp khác nhau, ví dụ như trong công nghiệp nặng, các chi tiết chống rung sử dụng vật liệu bằng thép với dạng sợi xoắn, hoặc đối với các chi tiết yêu cầu thu thập tín hiệu, cần độ chính xác cao, các chi tiết chống rung sử dụng vật liệu cao su. Một số máy móc bị rung xóc lớn khi hoạt động, không những bị ảnh hưởng đến hiệu quả của công việc, mà còn bị phá hủy do chịu mỏi với tần suất làm việc lớn. Việc thiết kế hệ thống chống rung phải dựa vào rất nhiều yếu tố ví dụ như môi trường làm việc (độ ẩm, hóa chất,...), yêu cầu độ chính xác của chống rung (tần số, biên độ dao động, ...).

Khối cảm biến quán tính IMU (Inertial Measurement Unit), là một thiết bị điện tử đo và báo cáo chi tiết tỷ lệ góc, gia tốc, đôi khi là từ trường xung quanh vật thể bay. IMU sử dụng sự kết hợp giữa thiết bị đo gia tốc (accelerometers) và con quay hồi chuyển (gyroscopes), đôi khi có cả từ kế. IMU thường được sử dụng để điều khiển máy bay, bao gồm cả máy bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicle – UAV), tàu vũ trụ, vệ tinh và cả tàu do thám. IMU có thể nhận được tín hiệu của Hệ thống định vị toàn cầu (Global Positioning System – GPS) khi vật thể hoạt động trong đường hầm, bên trong các tòa nhà nơi mà tín hiệu GPS không có. IMU là thành phần chính của hệ thống dẫn đường của khí cụ bay. Với khả năng hoạt động của IMU, các dữ liệu thu thập được từ các cảm biến cho

phép máy tính theo dõi vị trí của vật thể, sử dụng phương pháp “dead reckoning” (phương pháp tính toán vị trí hiện tại của một vật bằng cách sử dụng một vị trí đã xác định trước, hoặc cố định và ước tính vị trí của vật dựa trên tốc độ theo thời gian và quãng đường).

Đối với khí cụ bay, trong quá trình bay, do áp lực khí động của môi trường ngoài tác động lên thành vỏ vật thể, rung xóc do động cơ khi làm việc có thể ảnh hưởng đến khả năng thu thập tín hiệu của IMU, gây ra mất phương hướng và sai lệch trong quỹ đạo bay của khí cụ bay.

Các giải pháp công nghệ trong nước và trên thế giới đang được áp dụng hiện nay cho việc chế tạo hệ thống chống rung bao gồm:

- *Chống rung cân bằng cho chi tiết điện tử*: các giải pháp này chủ yếu tập trung vào việc chống rung cho các thiết bị theo phương quay của vật. Từ đó triệt tiêu các mô men tác động vào vật theo 3 phương, làm tăng khả năng chống rung cho chi tiết theo 3 phương quay ngay cả khi tần số rung lớn. Do chỉ sử dụng hệ cơ cấu quay cơ khí đơn giản nên phương pháp này có thể áp dụng rộng rãi cho nhiều lĩnh vực như quay phim, chụp ảnh ... Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm là chống rung dọc trục theo 3 phương không cao, vẫn có thể ảnh hưởng đến hiệu quả của chi tiết cần chống rung.

- *Chống rung chủ động cho chi tiết điện tử*: giải pháp này chủ yếu tập trung vào việc chống rung cho các chi tiết yêu cầu độ chính xác cao, tránh nhiễu do rung xóc được sử dụng trong các phòng thí nghiệm. Hệ thống bao gồm cảm biến tần số và biên độ rung, sau đó truyền tín hiệu đến bộ trung tâm điều khiển. Từ đây, tín hiệu được phân tích rồi chuyển đến động cơ tạo rung với tần số tương đương và biên độ ngược với biên độ rung từ ngoài để triệt tiêu. Do chống rung cũng sử dụng cảm biến và linh kiện điện tử, nên chỉ có thể hoạt động trong một

Do đó, nhóm tác giả đề xuất một hệ thống chống rung bị động cho khối cảm biến quán tính IMU và phương pháp thiết kế hệ thống chống rung đó.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích thứ nhất của sáng chế là đề xuất hệ thống chống rung cho khối cảm biến quán tính trong không gian cho trước được giới hạn bằng vỏ hộp 1. Hệ thống bao gồm

hai bộ phận chính: chi tiết chống rung 2, quả nặng căn chỉnh trọng tâm 3, đồ gá liên kết quả nặng 4 và khối cảm biến quán tính 5 trong đó:

Chi tiết chống rung thực chất là thiết bị được thiết kế bằng vật liệu thép không gỉ nằm ở đế hình vuông 6 và cao su thun tròn 7. Chi tiết chống rung có đặc điểm đàn hồi cao, chịu nhiệt tốt, hệ số giảm chấn và độ cứng phù hợp để chống rung cho khối cảm biến quán tính, thực hiện chức năng chống rung cho hệ thống theo nguyên lý: cân bằng động học vật rắn trên hệ 6 bậc tự do.

Vỏ hộp 1 được gắn chặt với nhau tạo ra không gian để thiết kế. Các chi tiết chống rung 2 được gắn chặt với thành hộp để cố định. Quả nặng căn chỉnh trọng tâm 3 và đồ gá liên kết quả nặng 4 là chi tiết có chức năng nối liền chi tiết chống rung 2 với khối cảm biến quán tính 5, được gắn chặt, tránh dơ cơ khí nhất có thể. Khi xảy ra rung xóc, dơ cơ khí sẽ khiến các chi tiết dao động bên trong đồ gá, ảnh hưởng đến tín hiệu của cảm biến cho sự va chạm. Từ đây, các kỹ sư có thể thiết kế các linh kiện gá lắp sao cho khối lượng được cân bằng tại trọng tâm hệ vật, và liên kết chặt với các chi tiết chống rung thông qua vít và bu-lông. Biên dạng của các chi tiết có thể ảnh hưởng đến tần số riêng của kết cấu, nên cần phải thiết kế đồ gá phù hợp đến tránh tần số cộng hưởng với nguồn rung như động cơ của khí cụ bay hoặc môi trường bên ngoài.

Theo một phương án thực hiện sáng chế, toàn bộ hệ thống chống rung là đều có thể tháo lắp trong quá trình sử dụng. Vì sau khi gia công, đôi khi xảy ra sai số khi gia công, cần phải sửa và thiết kế lại, sau khi thử nghiệm trên máy rung xóc.

Mục đích thứ hai của sáng chế là đề xuất phương pháp thiết kế hệ thống chống rung cho khối cảm biến quán tính.

Phương pháp thiết kế được đề cập bao gồm các bước sau: bước 1: nhận yêu cầu kỹ thuật chống rung cho khối cảm biến quán tính, bước 2: thiết kế đồ gá chống rung, bước 3: lựa chọn chi tiết chống rung phù hợp.

Tại mỗi bước, khác biệt ở chỗ:

Bước 1: Nhận yêu cầu kỹ thuật chống rung cho khối cảm biến quán tính;

Thực hiện nhận yêu cầu chống rung cho IMU, tìm hiểu và đánh giá giá trị ảnh hưởng trực tiếp đến từng yêu cầu, bao gồm: không gian thiết kế hệ thống chống rung: kích thước bao (vỏ hộp); tần số cắt mong muốn; thời gian nhiễu mong muốn.

Bước 2: Thiết kế đồ gá chống rung.

Bước này cần thực hiện tính toán khối lượng của hệ kết cấu bao gồm đồ gá, ốc vít và khối cảm biến và tính toán hàm truyền của kết cấu khi không có chống rung. Sử dụng dữ liệu đầu vào bao gồm: không gian của hộp đựng; khối lượng dự kiến; vị trí trọng tâm của khối cảm biến quán tính; phổ rung xóc theo tiêu chuẩn.

Bước 3: Lựa chọn chi tiết chống rung phù hợp.

Bước này cần thực hiện tính toán số lượng chi tiết chống rung nên sử dụng và lựa chọn loại chống rung, dựa trên nguyên lý giảm thiểu tối đa ảnh hưởng rung xóc lên khối cảm biến quán tính nhờ cân bằng tâm đàn hồi của hệ thống các chi tiết chống rung trùng với trọng tâm của hệ vật cần chống rung. Dựa vào dữ liệu đầu ra của bước trước, chúng ta sẽ tham số hóa tất cả giá trị để xác định được chống rung cần sử dụng như độ cứng dọc trục; độ cứng hướng tâm; hệ số giảm chấn phụ thuộc vào vật liệu.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: Tổng quan phương pháp thiết kế hệ thống chống rung.

Hình 2: Tổng thể hệ thống chống rung nằm trong hộp theo yêu cầu.

Hình 3: Chi tiết lắp ráp hệ thống chống rung.

Hình 4: Chi tiết chống rung sử dụng trong hệ thống.

Hình 5: Mô tả về tần số cắt.

Hình 6: Mô tả về thời gian nhiễu.

Mô tả chi tiết sáng chế

Phần sau đây mô tả chi tiết về hệ thống chống rung bị động cho khối cảm biến quán tính IMU của các khí cụ bay và phương pháp thiết kế hệ thống chống rung bị động được đề xuất dựa trên nội dung diễn giải, hình vẽ và ví dụ thực hiện.

Theo một phương án thực hiện, sáng chế là đề xuất hệ thống chống rung bị động cho khối cảm biến quán tính trong không gian cho trước được giới hạn bằng vỏ hộp 1. Hệ thống bao gồm các bộ phận chính: chi tiết chống rung 2, quả nặng căn chỉnh trọng tâm 3, đồ gá liên kết quả nặng 4 và khối cảm biến quán tính 5 trong đó:

Chi tiết chống rung 2 là thực chất là thiết bị được thiết kế bằng vật liệu thép không gỉ nằm ở đế hình vuông 6 và cao su thun tròn 7. Tham chiếu Hình 4, cao su thun tròn 7 có dạng chỏm cầu để hạn chế sự chênh lệch độ cứng giữa ba phương tịnh tiến; phần cao su này được liên kết với đế hình vuông 6 bằng keo trong quá trình lưu hóa đảm bảo liên kết không bị tách khi chịu tải. Chi tiết chống rung có đặc điểm đàn hồi cao, chịu nhiệt tốt, hệ số giảm chấn và độ cứng phù hợp để chống rung cho khối cảm biến quán tính, thực hiện chức năng chống rung cho hệ thống theo nguyên lý: cân bằng động học vật rắn trên hệ 6 bậc tự do.

Vỏ hộp 1 được gắn chặt với nhau tạo ra không gian để thiết kế. Các chi tiết chống rung 2 được gắn chặt với thành hộp để cố định. Quả nặng căn chỉnh trọng tâm 3 và đồ gá liên kết quả nặng 4 là chi tiết có chức năng nối liền chi tiết chống rung với khối cảm biến quán tính 5, được gắn chặt, tránh dư cơ khí nhất có thể. Khi xảy ra rung xóc, dư cơ khí sẽ khiến các chi tiết dao động bên trong đồ gá, ảnh hưởng đến tín hiệu của cảm biến cho sự va chạm. Từ đây, các kỹ sư có thể thiết kế các linh kiện gá lắp sao cho khối lượng được cân bằng tại trọng tâm hệ vật, và liên kết chặt với các chi tiết chống rung thông qua vít và bu-lông. Biên dạng của các chi tiết có thể ảnh hưởng đến tần số riêng của kết cấu, nên cần phải thiết kế đồ gá phù hợp đến tránh tần số cộng hưởng với nguồn rung như động cơ của khí cụ bay hoặc môi trường bên ngoài.

Chi tiết chống rung trong phương án của sáng chế thực hiện chức năng chống rung cho hệ thống theo nguyên lý: Để hệ thống chống rung đưa khối cảm biến quay về trạng thái cân bằng trong thời gian sớm nhất có thể; cần làm suy hao năng lượng rung thông qua tần số cắt. Trong khoảng thời gian hoạt động của khí cụ bay, dải tần số mà khối cảm biến phải chịu lên đến 800Hz, vì vậy tần số cắt càng thấp thì năng lượng rung của môi trường bên ngoài sẽ không còn ảnh hưởng đến khối cảm biến. Khoảng thời gian bắt đầu cất cánh, tần số giao động từ 0Hz đến 30Hz và sau đó thì trên 30Hz. Vì vậy, tần số cắt

phải nhỏ hơn hoặc bằng 30Hz để khi bắt đầu hoạt động trên không trung, năng lượng từ rung xóc sẽ ảnh hưởng không nhiều đến hiệu quả của cảm biến.

Cụ thể quá trình chống rung được thể hiện thông qua việc tính toán để căn chỉnh khối lượng phù hợp cho hệ vật:

Khối lượng của hệ vật cần chống rung là một biến số trong đó, khối lượng của IMU đã được xác định dựa vào thông số của sản phẩm. Vậy biến số cần tìm ở đây là khối lượng của đồ gá bao gồm bu-lông, ốc, vít và chi tiết bằng thép hoặc nhôm (tùy theo khối lượng riêng của vật liệu) liên kết chống rung và cảm biến quán tính. Trong quá trình thiết kế nhờ phần mềm, sau khi đặt vật liệu lên từng chi tiết, phần mềm sẽ xác định vị trí trọng tâm tại tâm hình học của hệ kết cấu. Do một số khối cảm biến lúc ban đầu không có trọng tâm trùng với tâm hình học, do vậy khi thiết kế sẽ phải thêm hoặc bớt vật liệu sao cho trọng tâm trùng với tâm hình học của hệ.

Để xác định vị trí đặt chống rung so với toàn bộ hệ kết cấu, kỹ sư phải thiết kế phù hợp đồ gá phù hợp sao cho trung bình cộng tọa độ của từng chống rung trùng với tọa độ trọng tâm của toàn bộ hệ kết cấu bao gồm đồ gá và khối cảm biến quán tính. Tính toán sơ bộ theo công thức dưới đây, trong đó x_g, y_g, z_g là tọa độ trọng tâm của hệ kết cấu, còn x_1, y_1, z_1 là tọa độ điểm gá lắp của chống rung thứ 1 đối với hệ kết cấu, n là số lượng chống rung được tính toán.

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = x_g$$

$$\frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} = y_g$$

$$\frac{z_1 + z_2 + \dots + z_n}{n} = z_g$$

Theo một khía cạnh thực hiện phương án sáng chế, tần số cắt nhỏ hơn 50Hz phù hợp với yêu cầu đưa ra để năng lượng rung bị suy hao sau 50Hz.

Đồ gá là chi tiết có chức năng nối liền chi tiết chống rung với khối cảm biến quán tính, có cấu tạo gắn chặt, tránh dơ cơ khí nhất có thể. Khi xảy ra rung xóc, dơ cơ khí sẽ khiến các chi tiết dao động bên trong đồ gá, ảnh hưởng đến tín hiệu của cảm biến cho sự va chạm. Khối cảm biến quán tính được thiết kế có các lỗ tròn để lắp ráp lên đồ gá. Từ

đây, các kỹ sư có thể thiết kế các linh kiện gá lắp sao cho khối lượng được cân bằng tại trọng tâm hệ vật, và liên kết chặt với các chi tiết chống rung thông qua vít và bu-lông. Biên dạng của các chi tiết có thể ảnh hưởng đến tần số riêng của kết cấu, nên cần phải thiết kế đồ gá phù hợp đến tránh tần số cộng hưởng với nguồn rung như động cơ của khí cụ bay hoặc môi trường bên ngoài.

Do được thiết kế dành riêng cho khối cảm biến quán tính, nên các chi tiết này đã được tính toán một cách phù hợp nhất để toàn thể hệ kết cấu đạt hiệu quả chống rung tốt nhất.

Theo phương án thực hiện sáng chế thứ nhất, toàn bộ hệ thống chống rung là đều có thể tháo lắp trong quá trình sử dụng. Vì sau khi gia công, đôi khi xảy ra sai số khi gia công, cần phải sửa và thiết kế lại, sau khi thử nghiệm trên máy rung xóc.

Theo một phương án thực hiện khác, sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế hệ thống chống rung cho khối cảm biến quán tính.

Phương pháp thiết kế được đề cập bao gồm các bước sau:

Bước 1: Nhận yêu cầu kỹ thuật chống rung cho khối cảm biến quán tính,

Bước 2: Thiết kế đồ gá chống rung,

Bước 3: Lựa chọn chi tiết chống rung phù hợp

Tại mỗi bước, khác biệt ở chỗ:

Bước 1: Nhận yêu cầu kỹ thuật chống rung cho khối cảm biến quán tính

Thực hiện nhận yêu cầu chống rung cho IMU, tìm hiểu và đánh giá giá trị ảnh hưởng trực tiếp đến từng yêu cầu, bao gồm: không gian thiết kế hệ thống chống rung; kích thước bao (vỏ hộp); tần số cắt mong muốn; thời gian nhiễu mong muốn.

Đối với không gian thiết kế hệ thống chống rung, đây là yêu cầu đầu tiên của việc thiết kế hệ thống chống rung. Vấn đề này nắm vai trò rất quan trọng trong việc bố trí các chi tiết chống rung, khối cảm biến quán tính và đồ gá chống rung bên trong hệ thống. Vì vậy, theo yêu cầu thiết kế, hệ thống chống rung được lắp đặt trong một không gian cố định trước là khung đồ gá được tích hợp trên khí cụ bay. Việc này sẽ giúp công việc tích hợp dễ dàng hơn, phân chia nhiệm vụ của từng khối hộp một cách bài bản. Mỗi khối hộp

đồ gá thực hiện một nhiệm vụ khác nhau trên khí cụ bay và đồ gá chống rung bên ngoài cũng vậy.

Không gian thiết kế ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tính toán để lựa chọn chống rung một cách phù hợp. Khoảng cách từ trọng tâm của hệ thống đến từng chi tiết chống rung phải được tính toán một cách cụ thể để giảm thiểu tối đa ảnh hưởng rung xóc lên khối cảm biến quán tính. Và phương án tối ưu nhất là tâm đàn hồi của hệ thống các chi tiết chống rung trùng với trọng tâm của hệ vật cần chống rung bao gồm đồ gá chống rung bên trong và khối cảm biến quán tính.

Đối với một quá tải ảnh hưởng đến hệ thống chống rung, khi gặp một không gian hẹp, khả năng va chạm giữa khối cảm biến quán tính và khung hộp đồ gá là có thể xảy ra, gây ra tín hiệu mà cảm biến nhận được vượt quá giới hạn dẫn đến sai số hoặc phá hủy cảm biến. Khi đó, để tránh va chạm giữa các chi tiết, thông số của chi tiết chống rung cũng phải thay đổi, không gian hẹp hơn tỉ lệ với việc chống rung phải cứng hơn để độ dịch chuyển của khối thiết bị giảm đi. Vì vậy, không gian thiết kế chống rung nắm vai trò rất quan trọng trong yêu cầu kỹ thuật của hệ thống.

Kích thước bao là yêu cầu đầu vào của bài toán thiết kế. Tùy theo kích thước bao của vỏ hộp 1 cho trước mà kỹ sư phải lắp đặt phù hợp và thiết kế hợp lý để chống rung khối cảm biến quán tính hiệu quả nhất.

Đối với tần số cắt mong muốn là tại tần số đó, năng lượng cộng hưởng do rung xóc bị suy hao và gây ít ảnh hưởng nhất đối với khối cảm biến quán tính. Năng lượng rung xóc bị suy hao về vùng năng lượng mà cảm biến ít bị ảnh hưởng nhất. Tần số cắt phụ thuộc vào độ cứng, khối lượng và hệ số giảm chấn của toàn bộ hệ thống chống rung. Do vậy, việc thiết kế đồ gá và lựa chọn chống rung tại các bước sau ảnh hưởng trực tiếp đến giá trị này.

Cũng như tần số cắt, thời gian nhiễu cũng ảnh hưởng bởi ba giá trị đã nêu ở trên. Ảnh hưởng lớn nhất là hệ số giảm chấn của hệ thống. Thời gian nhiễu này nói lên độ trễ của tín hiệu thực tế so với tín hiệu mong muốn. Khi dao động bé hay lớn ảnh hưởng tỷ lệ thuận với thời gian nhiễu, dao động tại tần số bé thì tần số nhiễu thấp, dao động tại tần số lớn, gia tốc lớn, độ trễ lớn, cần giảm chấn hiệu quả để tín hiệu có thể trở về vị trí cân bằng.

Bước 2: Thiết kế đồ gá chống rung.

Bước này cần thực hiện tính toán khối lượng của hệ kết cấu bao gồm đồ gá, ốc vít, khối cảm biến và tính toán hàm truyền của kết cấu khi không có chống rung. Sử dụng dữ liệu đầu vào bao gồm: không gian của hộp đựng; khối lượng dự kiến; vị trí trọng tâm của khối cảm biến quán tính; phổ rung xác theo tiêu chuẩn.

Việc tính toán khối lượng của hệ kết cấu bao gồm đồ gá, ốc vít và khối cảm biến được thực hiện như sau:

Từ khối lượng của mỗi chi tiết, chúng ta có thể tìm ra khối tâm của hệ kết cấu để thiết kế vị trí kết nối giữa hệ kết cấu với các chi tiết chống rung.

Hệ thống không được nặng quá, nên vật liệu sử dụng cho đồ gá được sử dụng làm bằng nhôm nguyên khối, để tính chất vật liệu không bị thay đổi nhiều sau khi gia công bao gồm độ cứng và hệ số giảm chấn của vật liệu.

Khoảng cách giữa đồ gá và hộp đựng được thiết kế phù hợp để tránh sự va chạm khi xảy ra rung xóc.

Trong nhiều trường hợp, khối cảm biến quán tính có trọng tâm không nằm chính giữa vật thể (trọng tâm hình học), do vậy, việc thiết kế căn chỉnh đồ gá sao cho trọng tâm của cả hệ kết cấu có thể nằm chính giữa hình học. Điều này sẽ giúp cho việc chống rung hiệu quả hơn.

Tính toán hàm truyền của kết cấu khi không có chống rung được thực hiện như sau:

Hàm truyền được hiểu là mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra của một hệ kết cấu. Việc sử dụng các phổ rung xác theo tiêu chuẩn trong ngành hàng không của khí cụ bay bao gồm tần số rung, biên độ rung từ đó có thể tính toán ra một giá trị năng lượng truyền vào hệ kết cấu. Từ phổ rung xác này, chúng ta sẽ thu được tín hiệu sau khi rung xóc từ đầu ra, ta có thể tính toán được hàm truyền của hệ kết cấu. Hàm truyền này giúp chúng ta hiểu rõ hơn tính chất rung xóc của hệ kết cấu. Tại công việc này, mô phỏng sử dụng lý thuyết phân tử hữu hạn được sử dụng để tránh việc gây hư hỏng cho thiết bị trong thực nghiệm.

Bước này sử dụng dữ liệu đầu vào tối thiểu bao gồm: không gian của hộp đựng; khối lượng dự kiến; vị trí trọng tâm của khối cảm biến quán tính; phổ rung xóc theo tiêu chuẩn.

Nguyên lý tổng quát của bước này như sau:

Sau khi sử dụng phần mềm thiết kế, với thông tin vật liệu và kích thước của từng chi tiết, phần mềm có thể tính toán cụ thể vị trí của vị trí trọng tâm của hệ vật. Từ đây ta có thể sử dụng phổ rung xóc để tính toán độ bền tĩnh và động của các chi tiết, nhằm mục đích tối ưu hóa kết cấu, giảm nhẹ khối lượng của hệ kết cấu.

Bước 2: Thiết kế đồ gá chống rung.

Bước này cần thực hiện tính toán số lượng chi tiết chống rung nên sử dụng. Sử dụng dữ liệu đầu vào bao gồm: hàm truyền của hệ kết cấu sau khi thiết kế; khối lượng của hệ kết cấu; chuyển vị tĩnh và động của kết cấu không có chống rung; phổ rung xóc theo tiêu chuẩn.

Tại bước này, “trọng tâm của hệ thống” được hiểu là điểm trung bình theo phân bố trọng lượng của hệ vật thể. Hay được gọi là “tâm đàn hồi” của hệ thống chống rung khi các chi tiết chống rung được tích hợp lên hệ thống, các chi tiết này được lắp đối xứng với nhau tại điểm đó.

Trong trường hợp hệ thống bị ảnh hưởng bởi quá tải theo ba phương, thì hệ thống chỉ chịu ngoại lực theo ba phương. Còn trong trường hợp, tâm đàn hồi không trùng với trọng tâm của hệ thống, khi quá tải xảy ra theo ba phương, hệ thống sẽ chịu thêm một mô-men xoay với cánh tay đòn bằng khoảng cách giữa tâm đàn hồi của các chi tiết chống rung với trọng tâm của hệ thống chống rung.

Khoảng cách từ trọng tâm của hệ thống đến từng chi tiết chống rung phải được tính toán một cách cụ thể để giảm thiểu tối đa ảnh hưởng rung xóc lên khối cảm biến quán tính. Và phương án tối ưu nhất là tâm đàn hồi của hệ thống các chi tiết chống rung trùng với trọng tâm của hệ vật cần chống rung.

Theo một khía cạnh thực hiện phương án, số lượng chi tiết chống rung nên sử dụng là bốn nhằm mục đích mỗi chi tiết đều đối xứng qua trọng tâm (tâm đàn hồi) của hệ vật.

Từ 6 phương trình chuyển động tự do, ta tính được ma trận khối lượng $[M]$ của hệ như sau:

$$[M] = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ 0 & 0 & 0 & -I_{xy} & I_{yy} & -I_{yz} \\ 0 & 0 & 0 & -I_{xz} & -I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix}$$

Trong đó, m là khối lượng của hệ vật bao gồm khối cảm biến quán tính và đồ gá (bu-lông, ốc, vít và chi tiết liên kết), I là giá trị của mô-men quán tính theo các phương xyz phụ thuộc vào vật liệu và biên dạng của hệ kết cấu.

Từ khối lượng là biến số, ảnh hưởng đến đặc tính động học của kết cấu, tham số, tần số riêng:

$$[M][\ddot{q}] + [K][q] = 0$$

Trong đó, $[M]$ Ma trận khối lượng 6x6

$[K]$ Ma trận độ cứng 6x6

$[q]$ Ma trận chuyển vị của hệ 6x1

$$[q] = [x \ y \ z \ \text{rotx} \ \text{roty} \ \text{rotz}]^T$$

$[\ddot{q}]$ Ma trận gia tốc của hệ 6x1

Ma trận độ cứng K bao gồm độ cứng kết cấu của từng chi tiết trong hệ vật bao gồm IMU.

Đồng thời, xây dựng ma trận I là ma trận Ten-xơ (tensor) quán tính của IMU và đồ gá đối với hệ trục tọa độ Oxyz để phục vụ cho tính toán lý thuyết về độ cứng và hệ số giảm chấn cho chống rung.

$$[I] = \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{xy} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{xz} & -I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix} \text{ (kg.m}^2\text{)}$$

Kết thúc bước này thu được hàm truyền của hệ kết cấu sau khi thiết kế; khối lượng của hệ kết cấu; chuyển vị tĩnh và động của kết cấu không có chống rung.

Bước 3: Lựa chọn chi tiết chống rung phù hợp.

Để lựa chọn loại chống rung cần sử dụng, tùy theo vật liệu và kết cấu của chống rung mà chi tiết có độ cứng và hệ số giảm chấn khác nhau. Dựa vào dữ liệu đầu ra của bước trước, chúng ta sẽ tham số hóa tất cả giá trị để xác định được chống rung cần sử dụng như: độ cứng dọc trục; độ cứng hướng tâm; hệ số giảm chấn phụ thuộc vào vật liệu. Cụ thể như sau:

Nếu gọi n là tổng số lượng Núi (Mount) sử dụng trong sơ đồ thiết kế chống rung. Ta có sơ đồ độ cứng của Núi (Mount) thứ s có tọa độ $[a_s \ b_s \ c_s]^T$

Ta có ma trận độ cứng của Núi (Mount) đối với hệ tọa độ Sxyz (Hệ tọa độ trục đàn hồi của Mount), tham chiếu hình 3:

$$[K_{Sxyz}] = \begin{bmatrix} K_{Sx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{Sy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{Sz} \end{bmatrix}$$

Khi tính toán cần tính độ cứng của Núi (Mount) so với hệ tọa độ Oxyz tại trong tâm IMU và đồ gá.

$$[K_{Oxyz}] = \begin{bmatrix} k_{11}^s & k_{12}^s & k_{13}^s \\ k_{21}^s & k_{22}^s & k_{23}^s \\ k_{31}^s & k_{32}^s & k_{33}^s \end{bmatrix}$$

Chỉ số s trong ma trận (4) chỉ số thứ tự của Núi (Mount) thứ s

Công thức chuyển hệ tọa độ ma trận độ cứng từ hệ Sxyz sang hệ Oxyz

$$[K_{Oxyz}] = [T][K_{Sxyz}][T]^T$$

$[T]$: Ma trận Cô-sin chỉ hướng của hệ Sxyz so với hệ Oxyz.

$[T]^T$: Ma trận chuyển vị của $[T]$

Ma trận khối lượng $[M]$ của hệ như sau:

$$[M] = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ & & & I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ & & & -I_{xy} & I_{yy} & -I_{yz} \\ & & & -I_{xz} & -I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix}$$

Ma trận độ cứng $[K]$ của hệ có dạng như sau:

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} & K_{26} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{61} & K_{62} & K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix}$$

Vì Núi (Mount) được chế tạo từ vật liệu cao su, loại giảm chấn của vật liệu cao su thuộc loại giảm chấn cấu trúc.

Khác với Lực giảm xóc nhớt (Damping viscous), Lực Giảm chấn Cấu Trúc tỷ lệ thuận với chuyển vị

$$f_{ds} = j\alpha kq$$

Trong đó α : Hệ số Tồn thất của cao su chế tạo Mount

k : Độ cứng

q : Chuyển vị

$$j = \sqrt{-1}$$

f_{ds} : Lực Giảm chấn Cấu Trúc

Phương trình chuyển động của IMU 6 bậc tự do

$$[M][\ddot{q}] + (j\alpha + 1)[K][q] = (j\alpha + 1)[K][p]$$

Trong đó: $[M]$ Ma trận khối lượng 6x6

$[K]$ Ma trận độ cứng 6x6

$[q]$ Ma trận chuyển vị của IMU 6x1

$[\ddot{q}]$ Ma trận gia tốc của hệ 6x1

α Hệ số tồn thất của cao su

$[p]$ Ma trận rung động kích thích từ đế IMU 6x1

Áp dụng phép biến đổi (Chuyển về không gian Véc-tơ riêng để tính toán)

$$[q] = [\emptyset][\eta]$$

Trong đó: $[\emptyset]$: Ma trận Véc-tơ riêng

$[\eta]$ Véc-tơ các tọa độ chính trong không gian Véc-tơ riêng.

Phương trình có dạng sau:

$$[M][\emptyset][\ddot{\eta}] + (j\alpha + 1)[K][\emptyset][\eta] = (j\alpha + 1)[K][p]$$

Nhân 2 vế của phương trình (12) với ma trận $[\emptyset]^T$. Ta được phương trình sau

$$[\emptyset]^T[M][\emptyset][\ddot{\eta}] + (j\alpha + 1)[\emptyset]^T[K][\emptyset][\eta] = (j\alpha + 1)[\emptyset]^T[K][p]$$

Biến đổi phương trình trên thành dạng sau:

$$[\emptyset]^T [M][\emptyset][\ddot{\eta}] + (j\alpha + 1)[\emptyset]^T [K][\emptyset][\eta] = (j\alpha + 1)[\emptyset]^T [K][\emptyset][\emptyset]^{-1}[p]$$

Đã chứng minh được:

$$[\emptyset]^T [K][\emptyset] = \begin{bmatrix} \ddots & 0 & 0 \\ 0 & k_i & 0 \\ 0 & 0 & \ddots \end{bmatrix}, [\emptyset]^T [M][\emptyset] = \begin{bmatrix} \ddots & 0 & 0 \\ 0 & m_i & 0 \\ 0 & 0 & \ddots \end{bmatrix}$$

$$[\emptyset]^{-1}[p] = [F] = \begin{bmatrix} \vdots \\ F_i \\ \vdots \end{bmatrix}, [\eta] = \begin{bmatrix} \vdots \\ \eta_i \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Phương trình có dạng sau

$$m_i \ddot{\eta}_i + (1 + \alpha j)k_i \eta_i = (1 + \alpha j)k_i F_i$$

Giả sử các nghiệm có dạng

$$\eta_i = \eta_i e^{j\omega t}, \quad F_i = F_i e^{j\omega t}$$

Phương trình có dạng sau

$$\{(k_i - \omega^2 m_i) + j\alpha k_i\} \eta_i = (1 + \alpha j)k_i F_i$$

Đặt $\omega_i = \sqrt{k_i/m_i}$, $r = \omega/\omega_i$

Phương trình có dạng sau

$$\eta_i = (1 + \alpha j)F_i / ((1 - r^2) + j\alpha)$$

Đặt $Real = \frac{F_i(1-r^2+\eta^2)}{(1-r^2)^2+(\alpha)^2}$, $Ima = -\frac{\alpha r^2 F_i}{(1-r^2)^2+(\alpha)^2}$

Ta có

$$\frac{\eta_i}{F_i} = \frac{\ddot{\eta}_i}{\ddot{F}_i} = \sqrt{Real^2 + Ima^2} = \sqrt{\frac{1 + \alpha^2}{(1 - r^2)^2 + \alpha^2}}$$

Đối với bài toán chống rung $I = 1 \dots 6$

$$[\emptyset] = [[\emptyset]_1 [\emptyset]_2 [\emptyset]_3 [\emptyset]_4 [\emptyset]_5 [\emptyset]_6]$$

$$[\eta] = [\eta_1 \quad \eta_2 \quad \eta_3 \quad \eta_4 \quad \eta_5 \quad \eta_6]^T$$

$$[q] = [\emptyset][\eta] = [\emptyset]_1 \eta_1 + [\emptyset]_2 \eta_2 + [\emptyset]_3 \eta_3 + [\emptyset]_4 \eta_4 + [\emptyset]_5 \eta_5 + [\emptyset]_6 \eta_6$$

$$= ([\emptyset]_1 Real_1 + [\emptyset]_2 Real_2 + [\emptyset]_3 Real_3 + [\emptyset]_4 Real_4 + [\emptyset]_5 Real_5 + [\emptyset]_6 Real_6)$$

$$+ j*([\emptyset]_1 Ima_1 + [\emptyset]_2 Ima_2 + [\emptyset]_3 Ima_3 + [\emptyset]_4 Ima_4 + [\emptyset]_5 Ima_5 + [\emptyset]_6 Ima_6)$$

Công thức trên cho phép chuyển kết quả tính toán chuyển vị trong không gian Véc-tơ riêng về hệ tọa độ Oxyz.

Phổ đáp ứng có dạng sau

$$PSD_{out} = W^2 PSD_{in}$$

$$PSD_{in}: \text{Phổ } PSD \left(\frac{g^2}{Hz} \right) \text{ kích thích}$$

W: Hàm truyền gia tốc của hệ hoặc hàm truyền chuyển vị của hệ chống rung IMU

$$PSD_{out}: \text{Phổ đáp ứng } PSD \left(\frac{g^2}{Hz} \right)$$

Để thực hiện, bước này cần sử dụng các tham số đầu vào bao gồm: hàm truyền của hệ kết cấu sau khi thiết kế; khối lượng của hệ kết cấu; chuyển vị tĩnh và động của kết cấu không có chống rung; phổ rung xác theo tiêu chuẩn.

Sau khi kết thúc, thu được Hàm truyền của hệ kết cấu bao gồm cả chống rung và hệ thống chống rung hoàn thiện để đi vào thử nghiệm.

Hiệu quả kỹ thuật đạt được

Các cảm biến nằm trong IMU đều có bản chất “sai số” theo thời gian hoặc quá tải bị ảnh hưởng trong quá trình hoạt động từ môi trường xung quanh. Bản chất này gây ảnh hưởng lớn đến hiệu quả của cảm biến hay không đều phụ thuộc vào thuật toán và khả năng chống rung xác của hệ thống. Lực tác dụng lớn hay bé, năng lượng rung xác nhiều hay ít đều gây sai số cho kết quả của IMU. Những sai số này được cộng dồn theo thời gian từ lúc khởi động, nên sau khi hoạt động một khoảng thời gian, sai số sẽ rất lớn. Nếu không có hệ thống chống rung, sai số này sẽ không thể kiểm soát và dễ vượt quá năng lượng chịu đựng của cảm biến gây đến hư hỏng. Dựa vào hệ thống chống rung bị động trong sáng chế, việc xử lý tín hiệu từ khối cảm biến quán tính sẽ dễ dàng hơn do có thể kiểm soát tín hiệu trong khoảng cho phép.

Sau khi xử lý kết quả, chúng ta đưa ra 4 chỉ tiêu chính đối với hệ thống chống rung của IMU :

- Độ cứng của chống rung: tiêu chí này quyết định chính về hàm truyền đáp ứng của kết cấu đối với sự rung xác, giúp kết cấu tránh khỏi sự cộng hưởng gây ra phá hủy.
- Độ giảm xác của chống rung: tiêu chí này ảnh hưởng đến sự khuếch đại của tín hiệu, độ lớn của cộng hưởng.

- Vị trí đặt chống rung trong hệ thống: chỉ tiêu đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa của hệ thống.
- Khối lượng của vật: chỉ tiêu có thể thay thế phụ thuộc vào hệ thống chống rung, hoàn thiện hóa kết cấu của hệ thống chống rung.

Với việc hoạt động và quy trình nghiên cứu hệ thống chống rung này, có thể áp dụng cho việc phát triển, tối ưu hóa phục vụ các dự án cho khí cụ bay.

Hệ thống chống rung này đã được sử dụng trong các lần thử nghiệm thành công trên vật thể bay. Bên cạnh đó, một số hiệu quả khác thu được như sau:

- Tín hiệu thu được không bị khuếch đại quá cao, độ lệch trong quỹ đạo bay không nhiều.
- Tiết kiệm chi phí và rút ngắn thời gian so với việc mua sản phẩm từ nước ngoài hay chuyển giao công nghệ chế tạo.

Sáng chế được mô tả chi tiết bằng cách sử dụng các phương án được mô tả ở trên. Tuy nhiên, rõ ràng là đối với người hiểu biết trung bình trong lĩnh vực sáng chế không bị giới hạn ở phương án được mô tả trong phần mô tả sáng chế. Sáng chế có thể được thực hiện ở chế độ cải biến hoặc thay đổi mà không nằm ngoài phạm vi sáng chế được xác định bởi các điểm yêu cầu bảo hộ. Vì vậy những gì được mô tả trong phần mô tả sáng chế chỉ nhằm mục đích minh họa, và sẽ không áp đặt bất kỳ giới hạn nào đối với sáng chế.

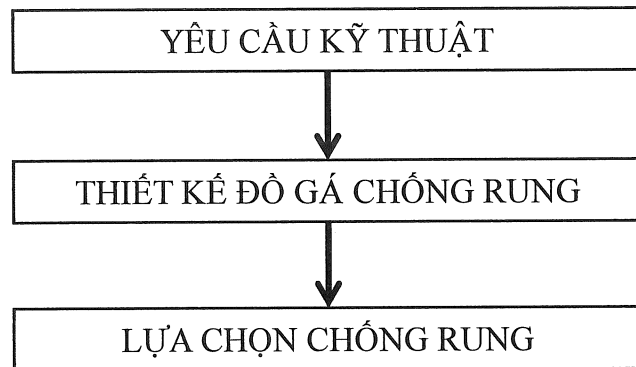
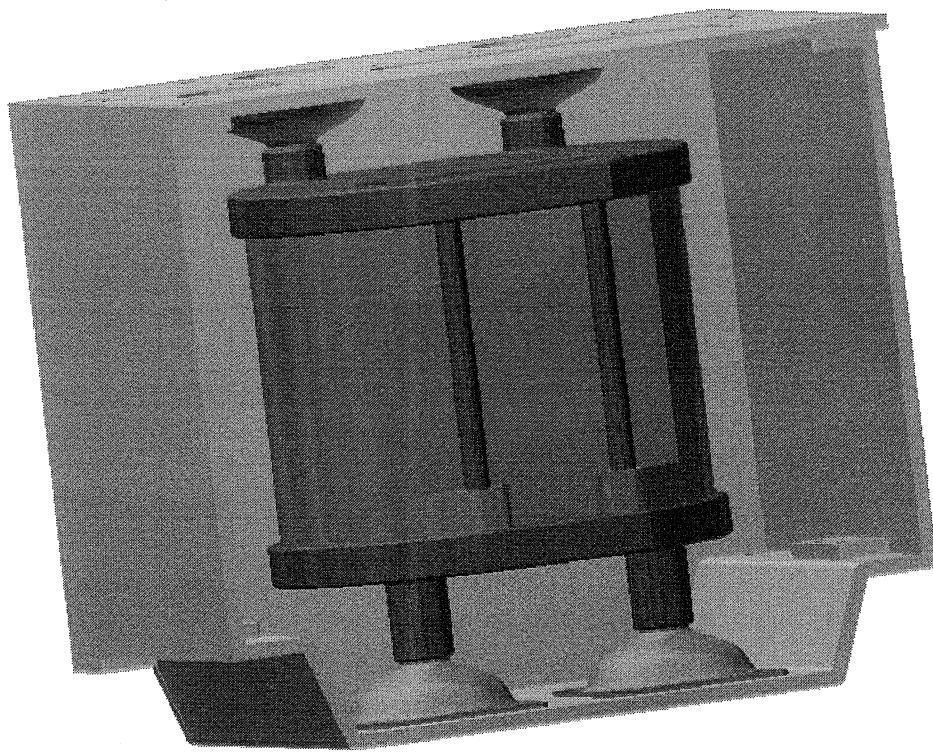
Yêu cầu bảo hộ

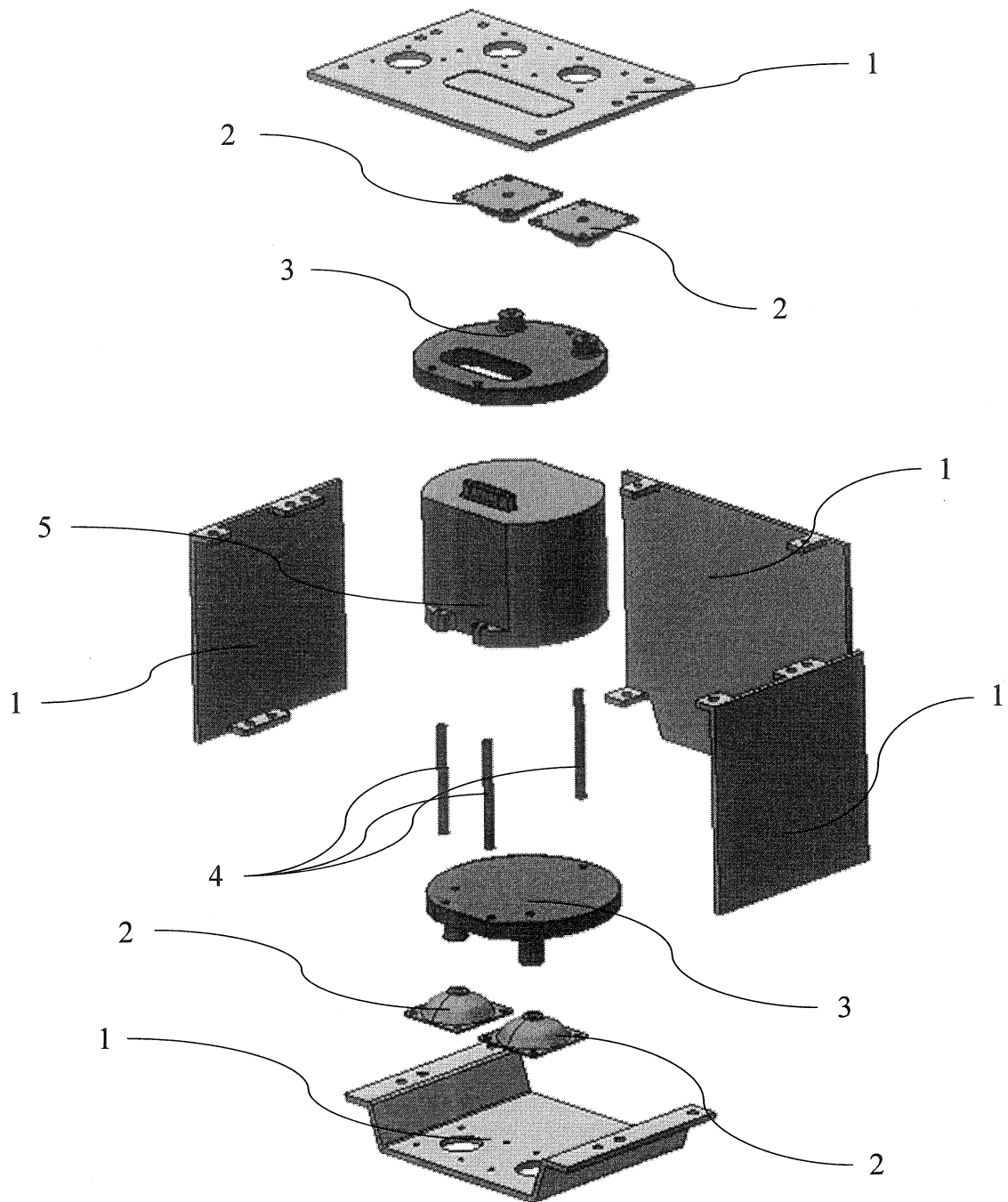
1. Hệ thống chống rung bị động cho khối cảm biến quán tính trong không gian cho trước được giới hạn bằng vỏ hộp, bao gồm các bộ phận chính: bốn chi tiết chống rung, quả nặng căn chỉnh trọng tâm, đồ gá liên kết quả nặng và khối cảm biến quán tính, trong đó:

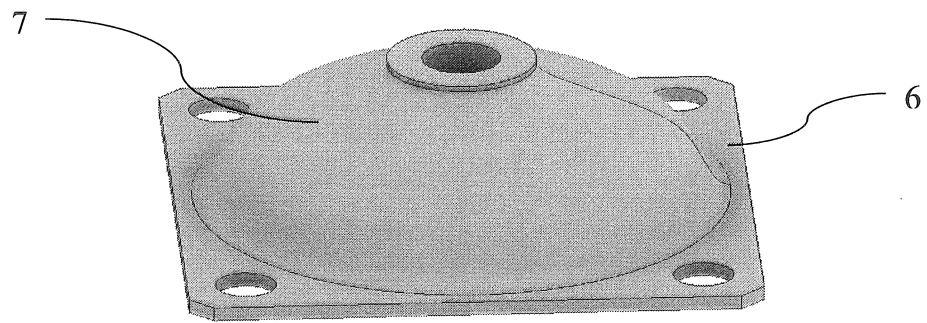
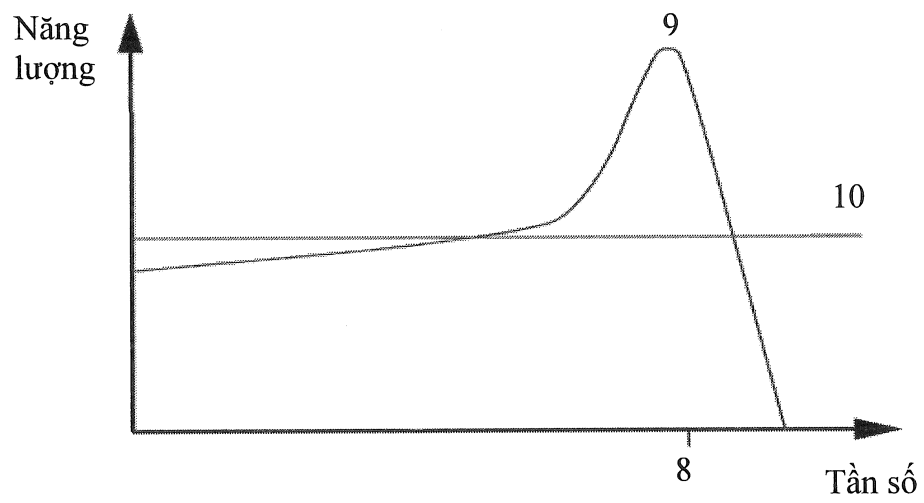
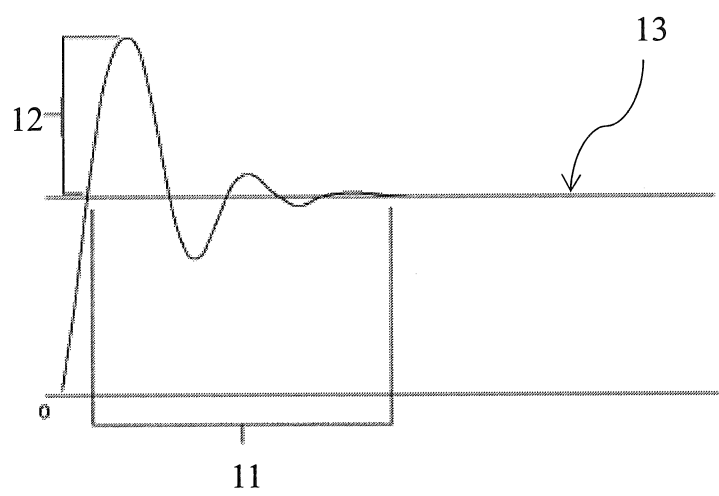
chi tiết chống rung được thiết kế bằng vật liệu thép không gỉ nằm ở đế hình vuông có bốn lỗ bắt vít với đồ gá và phần cao su thuôn tròn có dạng chòm cầu để hạn chế sự chênh lệch độ cứng giữa ba phương tịnh tiến; phần cao su này được liên kết với đế hình vuông bằng keo trong quá trình lưu hóa đảm bảo liên kết không bị tách khi chịu tải;

vỏ hộp được gắn chặt với nhau; các chi tiết chống rung được gắn chặt với thành hộp; quả nặng và đồ gá liên kết quả nặng nối liền chi tiết chống rung với khối cảm biến quán tính, được gắn chặt, tránh dơ cơ khí nhất có thể;

các linh kiện gá lắp sao cho khối lượng được cân bằng tại trọng tâm hệ vật, và liên kết chặt với các chi tiết chống rung thông qua vít và bu-lông.

Hình vẽ**Hình 1****Hình 2**

**Hình 3**

**Hình 4****Hình 5****Hình 6**