

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA – ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG  
KHOA CƠ KHÍ



# ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH: CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO MÁY

## THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MÁY IN 3D CORE XY

Sinh viên thực hiện: Nguyễn Trung Đức – 101190011 - 19C1A

Giáo viên hướng dẫn : ThS. Nguyễn Thanh Tùng

*Đà Nẵng - 2025*

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

KHOA CƠ KHÍ

## NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ và tên sinh viên: Nguyễn Trung Đức

MSSV :101190011

Ngành : Cơ khí chế tạo máy

Lớp : 19C1A

1. Tên đề tài đồ án:

Thiết kế và chế tạo máy in 3D core XY

2. Đề tài thuộc diện:  Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện

3. Các số liệu và dữ liệu ban đầu:

Tham khảo các tài liệu và nghiên cứu máy từ thực tế.

4. Nội dung các phân thuyết minh và tính toán:

- Tổng quan và lựa chọn phương án thiết kế
- Tính toán thiết kế hệ thống cơ khí
- Thiết kế hệ thống điện và điều khiển
- Quy trình lắp ráp và hướng dẫn sử dụng

5. Các bản vẽ, đồ thị (ghi rõ các loại và kích thước bản vẽ):

- 1 bản vẽ lắp máy khổ A0
- 1 bản vẽ sơ đồ dây đai A0
- 1 bản vẽ cụm trục Z A0
- 1 bản vẽ khung máy A0
- 1 bản vẽ lắp cụm đầu in A0
- 1 bản vẽ cụm XY A0
- 1 bản vẽ cụm đỡ bàn A0
- 1 bản vẽ sơ đồ thuật toán máy in
- 1 bản vẽ sơ đồ điều khiển máy in

6. Ngày giao nhiệm vụ đồ án: .../.../2025

7. Ngày hoàn thành đồ án: .../.../2025

## LỜI NÓI ĐẦU

Sau thời gian 4 năm được đào tạo về các phần lý thuyết cơ bản của “Thiết kế chi tiết máy”, “Cơ sở thiết kế máy”, “Điều khiển tự động”,...vv, kết hợp với quá trình tự tìm tòi học hỏi, chúng em đã rút ra, tích lũy được những kiến thức ban đầu hết sức quan trọng để bắt tay vào làm đồ án tốt nghiệp. Tuy nhiên sự non trẻ về kinh nghiệm thực tế khiến chúng em không khỏi lung túng trong quá trình thiết kế để có một hệ thống hoàn chỉnh, thẩm mỹ và hiệu quả kinh tế. Mặc dù sách tham khảo hiện nay khá nhiều tuy nhiên với thời gian thực hiện khá ngắn nên em khó có thể nắm bắt hết các kiến thức chuyên sâu cũng như các kinh nghiệm quý báu được đúc kết trong sách thiết kế máy, chế tạo máy,... Chính vì vậy việc vận dụng lý thuyết học được để giải quyết những vấn đề có liên quan đến yêu cầu thực tiễn sản xuất cũng như điều kiện làm việc, thị trường,... là rất hạn chế.

Với sự hướng dẫn tận tình của thầy **Th.s. Nguyễn Thanh Tùng**, cùng với nỗ lực của bản thân chúng em trong suốt thời gian thực hiện đồ án tốt nghiệp, cuối cùng chúng em đã hoàn thành tài liệu trình bày quá trình **Thiết kế và chế tạo máy in nhựa 3D**. Trong tài liệu chúng em đã trình bày các phần tính toán động học toàn máy, tính toán động học, động lực học cho hệ thống, thiết kế hệ thống điều khiển,...

Khi thiết kế chúng em đã cố gắng để hoàn thiện bản thiết kế thông qua máy. Máy hoạt động ổn định, cho ra sản phẩm chất lượng tuy nhiên với những hạn chế về chủ quan cũng như khách quan thì tài liệu này sẽ không tránh khỏi những thiếu sót, kính mong nhận được sự đóng góp của quý Thầy (Cô).

*Đà Nẵng, ngày tháng 06 năm 2025*

**Sinh viên thực hiện**

Nguyễn Trung Đức

## CAM ĐOAN

Em xin cam đoan rằng đề tài “ Thiết kế và chế tạo máy in 3D core XY “ được tiến hành một cách minh bạch, công khai. Mọi thứ được dựa trên sự cố gắng cũng như sự nỗ lực của bản thân cùng với sự giúp đỡ không nhỏ giáo viên hướng dẫn **Th.s . Nguyễn Thanh Tùng**

Các số liệu và kết quả nghiên cứu được đưa ra trong đề án là trung thực và không sao chép hay sử dụng kết quả của bất kỳ đề tài nghiên cứu nào tương tự. Nếu như phát hiện rằng có sự sao chép kết quả nghiên cứu đề những đề tài khác bản thân em xin chịu hoàn toàn trách nhiệm.

Sinh viên thực hiện

Nguyễn Trung Đức

# MỤC LỤC

<b>MỞ ĐẦU</b> .....	1
<b>1. Tính cấp thiết của đề tài</b> .....	1
<b>2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài</b> .....	1
<b>3. Mục tiêu nghiên cứu</b> .....	1
<b>4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu</b> .....	1
4.1.Đối tượng nghiên cứu.....	1
4.2.Phạm vi nghiên cứu.....	1
<b>5. Cơ sở phương pháp luận</b> .....	2
<b>6. Phương pháp nghiên cứu</b> .....	2
<b>7. Kết cấu đề tài</b> .....	2
<b>Chương 1: TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ TẠO MẪU NHANH VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT</b> ....	3
<b>1.1. Giới thiệu về công nghệ tạo mẫu nhanh</b> .....	3
<b>1.2. Các bước của quá trình tạo mẫu nhanh</b> .....	3
<b>1.3. Một số công nghệ tạo mẫu nhanh</b> .....	4
1.3.1. Công nghệ SLA.....	4
1.3.2. Công nghệ 3DP .....	5
1.3.3. Công nghệ FDM.....	6
<b>1.4. Một số mẫu máy in 3D</b> .....	6
1.4.1. Máy Prusa i3 .....	6
1.4.2. Máy in Delta Kossel .....	7
1.4.3. Máy Ember .....	7
<b>1.5. Khái quát chung về máy in 3D</b> .....	8
<b>1.6. Kết luận</b> .....	10
<b>Chương 2: PHÂN TÍCH VÀ LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ</b> .....	11
<b>2.1. Lý do lựa chọn FDM</b> .....	11
<b>2.2. Nguyên lý hoạt động</b> .....	11
<b>2.3. Thông số máy</b> .....	12
<b>2.4. Các loại chuyển động của công nghệ FDM</b> .....	12
<b>2.5. Các phương án thiết kế kết cấu máy</b> .....	13
2.5.1. Phương án 1 truyền động theo phương XZ .....	13
2.5.2. Phương án 2 truyền động theo phương XYZ.....	14
Truyền động Cartesian– XYZ. ....	14
2.5.3. Phương án 3 truyền động theo phương XY .....	15
<b>2.6. Lựa chọn phương án</b> .....	16

2.7.	Lý do chọn cơ cấu CoreXY.....	17
2.8.	Trình tự thực hiện .....	17
<b>Chương 3: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ.....</b>		<b>18</b>
3.1.	Thiết kế cụm cơ khí trục Z .....	18
3.1.1.	Tính toán truyền động vít me đai ốc.....	18
3.1.2	Tính toán chọn động cơ trục Z.....	21
3.1.3	Trục dẫn hướng và bạc dẫn hướng .....	23
3.1.4.	Khớp nối.....	24
3.2.	Thiết kế cơ khí cụm trục XY .....	25
3.2.1.	Kết cấu truyền động XY.....	25
3.2.2.	Lựa chọn bộ truyền .....	26
3.2.3.	Thiết kế sơ bộ cụm XY .....	28
3.3.	Bộ phận tời và đùn nhựa .....	29
3.3.1.	Cụm tời nhựa.....	29
3.3.2.	Đầu phun gia nhiệt.....	30
3.3.3.	Sợi nhựa .....	31
3.4	Thiết kế khung máy .....	32
<b>Chương 4: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN VÀ ĐIỀU KHIỂN.....</b>		<b>35</b>
4.1.	Tính toán thiết kế hệ thống điện.....	35
4.1.1.	Khởi nguồn.....	35
4.1.2.	Phần điều khiển.....	36
4.2.	Công tắc hành trình .....	40
4.3.	Lập trình điều khiển .....	40
<b>CHƯƠNG 5: QUY TRÌNH LẮP RÁP MÁY IN 3D FDM.....</b>		<b>49</b>
5.1.	Giới thiệu chung .....	49
5.2.	Cụm khung máy .....	49
5.3.	Cụm trục Z (vítme, thanh trượt, bàn in).....	50
5.4.	Cụm chuyển động CoreXY (X, Y, đai, đầu in).....	51
5.5.	Cụm đùn nhựa (Extruder) .....	52
5.6.	Cụm đầu in (Hotend) .....	53
5.7.	Cụm điều khiển – điện – LCD.....	54
5.8.	. Kiểm tra hoạt động ban đầu.....	55
<b>Chương 6: HƯỚNG DẪN SỬ DỤNG MÁY.....</b>		<b>56</b>
6.1	Cách thức sử dụng: .....	56
6.2	Bảo trì và bảo dưỡng máy.....	57
<b>KẾT LUẬN</b>		<b>56</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>		<b>58</b>



## DANH SÁCH CÁC HÌNH VẼ, BẢNG

Hình 1. 1: Sơ bộ quá trình tạo mẫu.....	<b>Lỗi! Thẻ đánh dấu không được xác định.</b>
Hình 1. 2: Sơ đồ nguyên lý tạo mẫu SLA .....	4
Hình 1. 3: Công nghệ 3DP .....	5
Hình 1. 4: Sơ đồ nguyên lý tạo mẫu FDM .....	6
Hình 1. 5: Máy in 3D prusa I3.....	6
Hình 1. 6: Máy in 3D Delta Kossel.....	7
Hình 1. 7: Máy in Ember.....	8
Hình 1. 8: Cấu trúc máy in 3D .....	8
Hình 2. 1: Phương án 1 .....	13
Hình 2. 2: Phương án 2.....	14
Hình 2. 3: Phương án 3.....	15
Hình 3. 1: Kiểu lắp vít me fixed – fixed.....	19
Hình 3. 2: Kiểu lắp vít me fixed – support.....	18
Hình 3. 3: Kiểu lắp vít me fixed – free.....	18
Hình 3. 4: Bản vẽ động cơ bước.....	21
Hình 3. 5: Bản vẽ cụm trục z.....	23
Hình 3. 6: Thông số con Trượt .....	23
Hình 3. 7: Một số loại khớp nối.....	23
Hình 3. 8: Thông số và kích thước khớp nối .....	23
Hình 3. 9: Sơ đồ nguyên lý truyền động CORE XY .....	25
Hình 3. 10: Đai GT2 và pulley .....	27
Hình 3. 11: Thông số đai GT2 .....	27
Hình 3. 12: Bản vẽ cụm trục xy.....	28
Hình 3. 13: Bộ tời nhựa MK8.....	29
Hình 3. 14: Bộ đèn nhựa e3d – V6.....	30
Hình 3. 15: Sơ đồ phân bố nhiệt độ đầu in.....	30
Hình 3. 16: Kích thước nhôm định hình.....	32
Hình 3. 17: Bản vẽ khung máy.....	32
Hình 3. 18: Bulong và ke góc .....	32
Hình 4. 1: Sơ đồ sơ bộ hệ thống nối điện.....	34
Hình 4. 2: Nguồn tổ ong.....	34
Hình 4. 3: Nguồn LITEON.....	34

Hình 4. 4: Sơ đồ nối các linh kiện điện tử.....	36
Hình 4. 5: Sơ đồ đấu nối mạch máy in 3D .....	36
Hình 4. 6: Board arduino mega 2560 .....	37
Hình 4. 7: Sơ đồ đấu nối A4988 .....	38
Hình 4. 8: Công tác hành trình .....	39
Hình 4. 9: Bước 1 .....	40
Hình 4. 10: Bước 3 .....	41
Hình 4. 11: Bước 4 .....	41
Hình 4. 12: Bước 5 .....	42
Hình 4. 13: Bước 6 .....	42
Hình 4. 14: Bước 7.1 .....	43
Hình 4. 15: Bước 7.2 .....	43
Hình 4. 16 Bước 8 .....	44
Hình 4. 17: Bước 9.1 .....	44
Hình 4. 18: Bước 9.2 .....	46
Hình 4. 19: Bước 10 .....	46
Hình 4. 20: Bước 11 .....	47
Hình 5. 1: Mô hình máy sau khi lắp .....	48
Hình 5. 2: Khung máy .....	49
Hình 5. 3: Cụm đỡ bàn in .....	50
Hình 5. 4: Cụm vít-me .....	50
Hình 5. 5: Cụm trục z .....	50
Hình 5. 6: Bộ tời nhựa .....	51
Hình 5. 7: Cụm đầu phun .....	52
Hình 5. 8: Board Arduino mega 2560 .....	53
Hình 5. 9: Màn hình LCD 12864.....	54
Hình 6.1: Phần mềm ULTIMAKER Cura .....	55
Hình 6.2: Sơ đồ cây the mục thao tác trên màn hình LCD .....	56
Hình 6.3: Mô hình trên solidwork .....	58
Hình 6.4: Mô hình trên thực tế .....	59

## DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT

- FDM (Fused Deposition Manufacturing).
- SLA (Stereolithography apparatus).
- LOM (Laminated Object Manufacture).
- SLS (Selective Laser Sintering).
- ABS (Acrylonitrile Butadien Styrene).
- PLA (Polylactic acid)
- IoT(Internet of Things)

## LỜI MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Công nghệ tạo mẫu nhanh từ khi ra đời đến nay đã được cải tiến và phát triển rất nhiều. Hàng loạt phương pháp và công nghệ tạo mẫu ra đời, mỗi công nghệ tạo mẫu có những ưu điểm riêng. Hiện nay một trong những phương pháp tạo mẫu được sử dụng phổ biến nhất là công nghệ FDM với những ưu điểm như đơn giản, dễ thiết kế, vật liệu dễ tìm, không gây độc hại ....

Bên cạnh những ưu điểm đó thì nhược điểm là độ bóng bề mặt thấp, tốc độ in chưa cao...

Từ những ưu điểm và nhược điểm đó nhóm quyết định thiết kế chế tạo máy in 3D có thể phát huy được những ưu điểm của công nghệ này đồng thời nâng cao tốc độ và chất lượng mẫu in.

### 2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Đề tài có những ý nghĩa khoa học và thực tiễn:

- Thiết kế mẫu máy in 3D với chất lượng mẫu in tốt phục vụ cho công việc nghiên cứu và giảng dạy trên trường lớp.
- Phát triển chất lượng về mẫu in, kết cấu máy so với những dòng máy in 3D truyền thống trên thị trường từ nhưng vẫn phải đảm bảo về mức giá hợp lý.

### 3. Mục tiêu nghiên cứu

Đề tài nhằm mục đích nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy in 3D sử dụng công nghệ in FDM, thay đổi một số thiết kế so với một số dòng máy in 3D truyền thống, nâng cao chất lượng mẫu in, tốc độ mẫu in.

### 4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

#### 4.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo máy in 3D công nghệ FDM.

#### 4.2. Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi nghiên cứu của đề tài như sau:

- Nghiên cứu tổng quan về công nghệ in 3D.
- Nghiên cứu, thiết kế cơ cấu truyền động của máy.
- Nghiên cứu tính toán toàn diện.
- Nghiên cứu phần mềm dao tiếp, hỗ trợ lập trình 3D.

## **5. Cơ sở phương pháp luận**

Từ cơ sở các tài liệu, các nghiên cứu, đề tài đi trước, các mẫu máy có trên thị trường để phân tích những ưu điểm cũng như những nhược điểm của các dòng máy có trước từ đó lựa chọn thiết kế được mẫu máy tốt hơn.

## **6. Phương pháp nghiên cứu**

Đề tài kết hợp nghiên cứu giữa phương pháp lý thuyết và thực nghiệm trên mô hình.

Cụ thể:

Nghiên cứu lý thuyết:

- Tìm kiếm, tổng hợp các tài liệu liên quan đến đề tài.
- Nghiên cứu về lý thuyết tạo mẫu nhanh với công nghệ FDM.
- Tổng hợp tài liệu tính toán, thiết kế cơ cấu truyền động đảm bảo độ chính xác, tối ưu hóa chuyển động.
- Tìm hiểu về thuật toán điều khiển đường chạy của đầu phun.

Thực nghiệm:

- Chế tạo mô hình máy in 3D từ đó áp dụng, kiểm tra lại các lý thuyết trước đó đã nghiên cứu.
- Nghiên cứu các kiểu đường chạy nhựa có thể sử dụng đối với các mẫu in để tối ưu mẫu in.

## **7. Kết cấu đề tài**

Chương 1: Tổng quan về công nghệ tạo mẫu nhanh và cơ sở lý thuyết.

Chương 2: Phân tích và lựa chọn phương án thiết kế.

Chương 3: Tính toán thiết kế hệ thống cơ khí.

Chương 4: Thiết kế hệ thống điện và điều khiển.

Chương 5: Hướng dẫn sử dụng máy.

## Chương 1: TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ TẠO MẪU NHANH VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 1.1. Giới thiệu về công nghệ tạo mẫu nhanh

Công nghệ tạo mẫu nhanh ra đời từ những thập niên 80 với sự xuất hiện đầu tiên của công nghệ tạo mẫu lập thể SLA được phát minh ở Mỹ vào những năm 1983 bởi Charles Hull. Từ đó đến nay công nghệ tạo mẫu nhanh khá phát triển với nhiều công nghệ với được phát minh.

Công nghệ tạo mẫu nhanh hỗ trợ rất nhiều cho người thiết kế và những nhà sản xuất có thể kiểm tra các chi tiết hay hệ thống được thiết kế trước khi được cấp vốn để sản xuất hàng loạt. Các công nghệ tạo mẫu nhanh đã giúp các nhà sản xuất đẩy mạnh việc thiết kế sản phẩm, hạn chế các sai sót không đáng có trong quá trình thiết kế và sản xuất.

Về cơ bản công nghệ tạo mẫu nhanh là quá trình tạo mẫu sản phẩm giúp người sản xuất quan sát nhanh sản phẩm cuối cùng. Quá trình tạo mẫu được hỗ trợ bởi các phần mềm CAD giúp thiết kế nhanh sản phẩm, các phần mềm cắt lớp. Tạo đường chuyển động.

Đặc điểm của công nghệ tạo mẫu nhanh là:

- Thực hiện tạo mẫu trong thời gian ngắn, đây chính là điểm mạnh của phương pháp này
- Sản phẩm của quá trình tạo mẫu nhanh có thể dùng để kiểm tra các mẫu được sản xuất bằng phương pháp khác.
- Mẫu tạo ra có thể dùng hỗ trợ cho quá trình sản xuất.

### 1.2. Các bước của quá trình tạo mẫu nhanh.

Quá trình tạo mẫu nhanh được thể hiện qua sơ đồ khối sau:



Hình 1. 1 Sơ bộ quá trình tạo mẫu

Bước 1: Tạo mô hình 3D dạng mặt hay khối.

Bước 2: Tiền xử lý

- Chuyển đổi định dạng file CAD 3D sang định dạng file .stl xấp xỉ bề mặt dưới dạng tam giác.
- Sử dụng các phần mềm thiết kế các kết cấu hỗ trợ (support), kiểm tra file stl và chỉnh sửa, cắt lớp chi tiết.
- Xuất file Gcode tạo đường chuyển động

Bước 3: Tạo mẫu tự động.

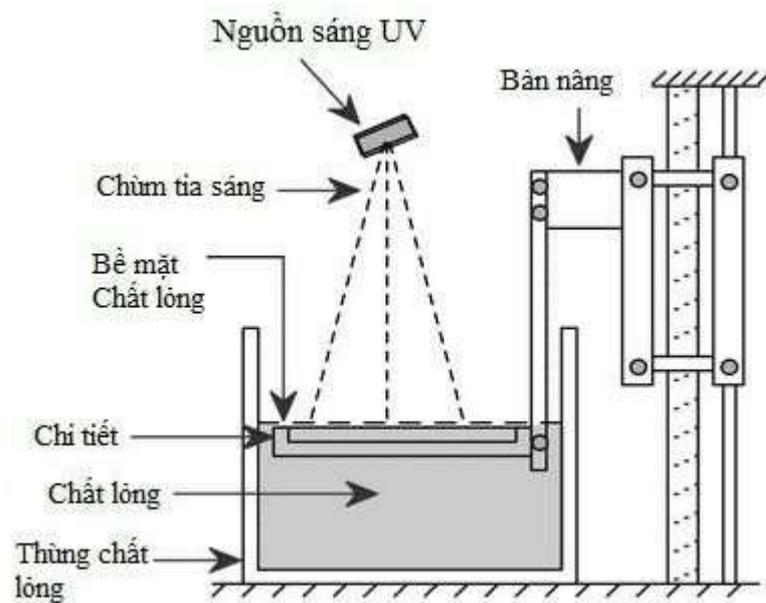
Bước 4: Hậu xử lý

- Tháo các bộ phận support, xử lý bề mặt, ...

### 1.3. Một số công nghệ tạo mẫu nhanh

#### 1.3.1. Công nghệ SLA

Công nghệ SLA được phát minh ở Mỹ vào năm 1984. Phương pháp tạo mẫu lập thể SLA dựa vào nguyên tắc đông cứng vật liệu lỏng photopolymer thành hình dạng rõ ràng khi nó được chiếu bởi một chùm tia laser cường độ cao. Có thể sử dụng Laser He-Cd với bước sóng  $325nm$  hoặc Laser dạng rắn Nd: YVO4 với bước sóng  $354,7nm$ .



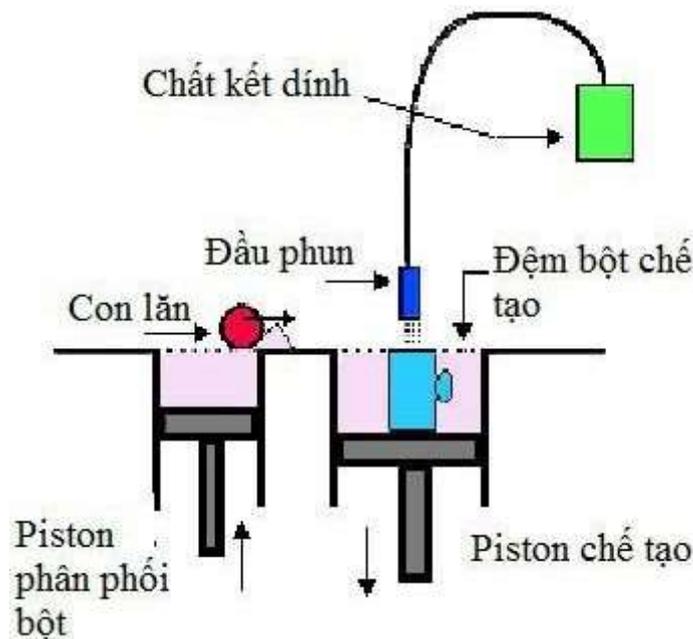
Hình 1. 1: Sơ đồ nguyên lý tạo mẫu SLA

Tại vị trí bề mặt cao nhất thì trên tấm là một lớp chất lỏng cạn. Máy phát laser phát ra chùm tia cực tím tập trung trên một diện tích của lớp chất lỏng và di chuyển theo hướng X – Y.

Chùm tia cực tím chiếu sáng làm đông đặc lớp dung dịch tạo nên một khối đặc, bề mặt được hạ xuống một khoảng bằng chiều dày 1 lớp và quá trình được lặp lại. Quá trình được tiếp diễn cho đến khi đạt được kích thước của chi tiết. Phần dung dịch xung quanh không bị đông kết và có thể được sử dụng cho lần kế tiếp.

### 1.3.2. Công nghệ 3DP

Công nghệ in chiều được phát triển ở khoa kỹ thuật cơ khí viện công nghệ MIT.



Hình 1. 2: Công nghệ 3DP

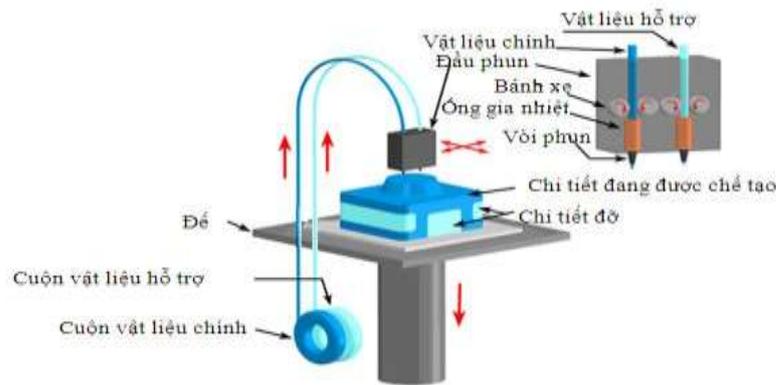
Đầu phun sẽ phun dung dịch keo kết dính trên bề mặt lớp nền bột vật liệu chế tạo. Bột sẽ kết dính với nhau ở những vị trí có keo dính. Sau khi lớp đầu tiên hoàn thành piston chế tạo sẽ đi xuống một khoảng bằng bề dày một lớp. Piston phân phối bột đi lên, con lăn chạy qua đẩy bột cung cấp tiếp tục cho quá trình. Quá trình được lặp lại cho đến khi toàn bộ vật thể được chế tạo xong trong nền bột.

### 1.3.3. Công nghệ FDM

Công nghệ in FDM được sử dụng khá nhiều trong các loại máy in hiện nay với kết cấu đơn giản, vật liệu dễ tìm.

Nguyên lý hoạt động:

Ở vị trí ban đầu bàn in cách đầu phun nhiệt một khoảng bằng chiều dày lớp in. Sợi nhựa được đưa vào kim phun nhờ hệ thống tời nhựa bằng cặp bánh răng một cách liên tục. Tại đầu phun nhựa, nhựa được nung nóng tới khoảng nhiệt độ thích hợp bởi bộ phận gia nhiệt. Nhựa nóng chảy được đùn ra theo biên dạng dịch chuyển của đầu phun. Sau khi lớp thứ nhất hoàn thành bàn máy dịch xuống một khoảng bằng chiều dày một lớp. Quá trình tiếp tục cho đến khi hoàn thành chi tiết.



Hình 1. 3: Sơ đồ nguyên lý tạo mẫu FDM

## 1.4. Một số mẫu máy in 3D

### 1.4.1. Máy Prusa i3



Hình 1. 4: Máy in 3D prusa i3

Được phát triển từ những năm 2010 bởi Josef Prusa. Đây là một trong những mẫu máy in 3D công nghệ FDM khá phổ biến trên thị trường hiện nay. Mức giá của loại máy này giao động từ 4 triệu đến 6 triệu. Ưu điểm của loại máy này là kết cấu đơn giản, dễ lắp ráp, tuy nhiên nhược điểm là độ chính xác không cao, độ bóng bề mặt thấp.

#### *1.4.2. Máy in Delta Kossel*

Được phát triển bởi Johann tại Seattle, Mỹ vào năm 2012. Dòng máy này sử dụng cơ cấu robot delta, công nghệ in FDM, loại nhựa thường được sử dụng là nhựa ABS, PLA.



*Hình 1. 5: Máy in 3D Delta Kossel*

Ưu điểm của mẫu máy này là máy hoạt động êm, ít rung, tốc độ và độ chính xác cao có thể in được vật thể có chiều cao lớn, cơ cấu có độ cứng vững cao. Bên cạnh những ưu điểm đó là những nhược điểm như khổ máy lớn, cồng kềnh, kết cấu phức tạp, khó căn chỉnh, giá thành đắt hơn so với dòng máy prusa.

#### *1.4.3. Máy Ember*

Máy ember được phát triển bởi công ty Autodesk năm 2015. Đây là dòng máy in sử dụng công nghệ SLA, sử dụng vật liệu là loại nhựa lỏng.

Ưu điểm: độ phân giải của máy cao, độ chính xác cao, kích thước máy nhỏ gọn, chi tiết sau khi in có độ cứng cao, độ bóng bề mặt cao.

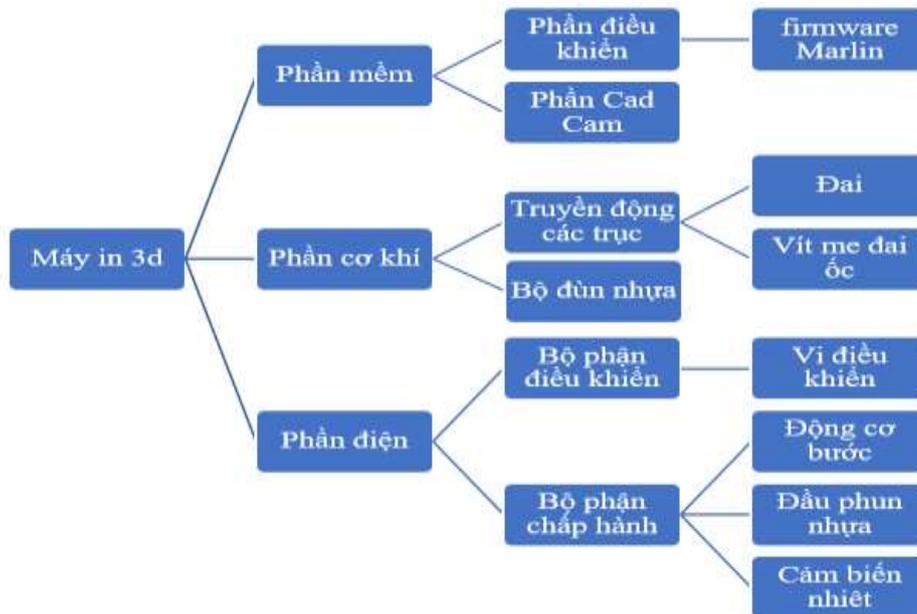
Nhược điểm: giá thành cao, tốc độ in thấp.



Hình 1. 6: Máy in Ember

### 1.5. Khái quát chung về máy in 3D

Máy in 3d đầu tiên ra đời vào những năm 80 là những dòng máy in 3D SLA đầu tiên trên thế giới. Về cơ bản mọi máy in 3D đều có kết cấu cơ khí gần giống nhau, chỉ khác nhau về bộ phận tạo mẫu. Xét về tổng quan các máy in 3D FDM có kết cấu gồm 3 phần chính: phần mềm điều khiển, phần điện, phần cơ khí, bộ đùn nhựa.



Hình 1.8: Cấu trúc máy in 3D

Cấu trúc cơ khí của một máy in 3D gần giống với các loại máy CNC với truyền động của các trục. Bộ truyền có thể là bộ truyền vít me – đai ốc hoặc bộ truyền đai.

Đặc điểm của truyền động cơ khí trong máy in 3D là tải trọng tác dụng lên không đáng kể do đó việc thiết kế tương đối đơn giản, kết cấu các trục tương đối gọn nhẹ, các chi tiết lắp ráp không đòi hỏi về khả năng chịu lực không cao do đó có thể sử dụng các chi tiết in được bằng các máy khác để lắp ráp. Đó cũng là một ưu điểm của các máy in 3D. Một số dòng máy in 3D có khoảng 80% các chi tiết lắp ráp là được in bằng các máy in 3D sẵn có.

- Phần điện của máy in 3D có thể chia thành 2 khối: khối điều khiển và khối chấp hành. Khối điều khiển gồm các thành phần như: Vi điều khiển, Board kết nối, Driver.
- Khối chấp hành gồm các thành phần như: động cơ bước, các cảm biến nhiệt, động cơ servo (nếu có), tản nhiệt, ...
- Bộ đèn nhựa là một trong những phần quan trọng nhất trong máy. Bộ phận này thực hiện 2 chức năng trong máy: bộ đèn nhựa cung cấp nhựa chạy liên tục, đầu phun nhựa thực hiện chức năng nung chảy nhựa và đèn nhựa tạo nên mẫu.
- Phần mềm được chia làm 2 thành phần: phần mềm CAD/CAM, phần mềm điều khiển. Phần mềm CAD là các phần mềm có chức năng tạo mẫu 3D, đây là các mô hình sẽ được in trên máy in 3D. Các phần mềm CAD được sử dụng có thể là Solidwork, Creo, Sketchup, .... Các mô hình 3D sau khi được tạo ra phải được chuyển đổi sang định dạng STL từ đó có thể đưa sang các phần mềm CAM để xử lý tiếp theo. Các phần mềm CAM là các phần mềm thực hiện các chức năng cắt lớp vật thể do công nghệ in 3D là in theo từng lớp, lớp cắt càng có kích thước nhỏ thì chất lượng mẫu in càng tốt tuy nhiên thời gian in sẽ tăng lên và ngược lại, lớp in càng lớn thì chất lượng giảm và tốc độ in tăng lên. Để tối ưu hóa giữa chất lượng in và tốc độ in thì phải có cài đặt các thông số in hợp lý. Sau khi cắt lớp phần mềm sẽ tạo chuyển động khi in và xuất file Gcode. Các mã lệnh G-code hầu hết giống với G-code trên máy CNC tuy nhiên có một số mã lệnh riêng đối với máy in 3D.

Các phần mềm CAM được sử dụng phổ biến cho máy in 3d là Cura, Slic3r, Simplify, .... Một số phần mềm sẽ tích hợp các module CAM và module điều khiển trong một, giúp công việc xử lý mẫu in nhanh hơn và đạt hiệu quả hơn như phần mềm Repetier host. Phần mềm này tích hợp các công cụ CAM là Slic3r, Cura, Skeinforge, có thể

lựa chọn sử dụng một trong ba module để so sánh từ đó lựa chọn module tốt hơn cho từng kiểu mẫu in khác nhau.

Để máy hoạt động ta phải nạp Gcode cho máy. Có thể nạp Gcode thông qua phần mềm điều khiển hoặc nạp qua thẻ nhớ trên màn hình LCD điều khiển. Phần mềm giao diện điều khiển được sử dụng có thể là Repetier host hoặc Pronterface.

## **1.6. Kết luận**

Chương này đã giới thiệu một số công nghệ in 3D và một số mẫu máy in 3D điển hình và được sử dụng khá phổ biến trên thị trường hiện nay từ đó làm tiền đề cho việc lựa chọn kết cấu và công nghệ in sử dụng trong đồ án.

Trình bày những vấn đề lý thuyết cơ bản về những thành phần sử dụng trong kết cấu máy của đồ án từ đó làm tiền đề cho việc lựa chọn và thiết kế máy sau này.

## Chương 2: PHÂN TÍCH VÀ LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

### 2.1. Lý do lựa chọn FDM

Các máy Stereolithography sử dụng chất lỏng cơ khí ô nhiễm, chúng phải được xử lý cẩn thận. Phương pháp Laser Sintering sử dụng các hạt kim loại nhỏ hoặc bột plastic có thể gây ô nhiễm. Cả hai quá trình này đều sử dụng năng lượng tia laser có thể gây nguy hiểm cho mắt. Những đặc điểm này đã nói lên hệ thống Stereolithography và Laser Sintering được lắp đặt cho một phần các thiết bị từ phòng kỹ thuật. Từ việc muốn tạo ra các mẫu nhanh nhưng lại không muốn tốn nhiều chi phí cho việc lắp đặt, thì phương pháp tạo mẫu nhanh FDM có thể cung cấp một sự lựa chọn tốt nhất. So sánh với phương pháp Stereolithography và Laser Sintering thì có vẻ như FDM rõ ràng là một phương pháp tốt nhất.

Các máy FDM hầu như dễ sửa chữa, dễ dàng thay đổi vật liệu, cấu tạo đơn giản, giá thành thấp so với các máy sử dụng 2 phương pháp còn lại nhưng vẫn đáp ứng được các nhu cầu của tạo mẫu nhanh.

### 2.2. Nguyên lý hoạt động

Nếu như 2 phương pháp Stereolithography và Laser Sintering sử dụng tia laser và các vật liệu thì FDM xây dựng bằng cách kéo dài nhựa nóng chảy rồi hóa rắn từng lớp tạo nên cấu trúc chi tiết đặc. Vật liệu xây dựng trong cấu trúc của một sợi đặc mạnh được dẫn từ một cuộn tới đầu chuyển động điều khiển bằng động cơ servo. Khi sợi này tới đầu dò nó nóng chảy bởi nhiệt độ sau đó được đẩy qua vòi phun lên mặt phẳng chi tiết.

Khi vật liệu nóng chảy được đẩy ra nó bằng nhờ vòi phun. Độ rộng của đường trải được xác định bằng kích thước đầu phun. Miệng phun không thể thay đổi trong quá trình tạo mẫu, vì thế việc phân tích mô hình phải được chọn lựa trước.

Khi kim loại nóng chảy được san đều nó nguội nhanh khoảng 1/10s và đông cứng lại. Khi một lớp phủ hoàn thành trên mặt phẳng, giá đỡ di chuyển xuống phía dưới một lớp mỏng từ 0.005 đến 0.01inc, và quá trình được lặp lại.

Hệ thống FDM đọc file STL theo đầu vào của tất cả các phương pháp tạo mẫu nhanh. File STL bao gồm một lưới tam giác kín được tạo ra từ mặt phẳng của mô hình CAD. Phần mềm trong hệ thống sẽ cắt file STL thành chuỗi các mặt cắt ngang, nó được đổ đầy bởi đầu phun vật liệu.

Để tạo ra chi tiết chính xác, nó điều khiển nhiệt độ tới hạn của buồng và quá trình hình thành chi tiết. Nhiệt độ của buồng phải giữ thấp hơn nhiệt độ nóng chảy của vật liệu, vì thế chỉ cần một lượng nhiệt nhỏ cũng đủ nung chảy sợi tốc độ ra và hình thành chi

tiết biến dạng. Chi tiết phải được giữ đủ lạnh để vật liệu nóng chảy hóa cứng và liên kết với nhau.

### 2.3. Thông số máy

- Không gian in tối đa: 300x300x300 mm - Dung sai cho phép  $\pm 0.2$  mm
- Tốc độ khi in tối ưu 60 ~ 100 mm/s.
- Tốc độ tối đa 150 mm/s.

### 2.4. Các loại chuyển động của công nghệ FDM

Dựa trên thông tin bạn cung cấp, dưới đây là tóm tắt các loại chuyển động của máy in 3D công nghệ FDM:

#### 2.4.1 Cartesian (Hệ tọa độ Descartes)

- Nguyên lý: Sử dụng hệ trục X, Y, Z, với đầu in di chuyển theo X và Y, bàn in hoặc đầu in di chuyển theo Z.
- Cơ cấu phổ biến: HBot, CoreXY, Prusa i3.
- Ưu điểm: Dễ thiết kế, điều khiển, độ chính xác cao nhờ chuyển động tuyến tính.
- Nhược điểm: Tốc độ hạn chế do khối lượng lớn, cần không gian rộng cho kích thước in lớn.

#### 2.4.2 Delta

- Nguyên lý: Ba tay đòn liên kết điều khiển đầu in treo, mỗi tay do một động cơ bước ở chân máy điều khiển, dùng hệ tam giác động.
- Ưu điểm: Tốc độ in cao, chuyển động mượt, phù hợp in vật thể cao hoặc hình trụ.
- Nhược điểm: Khó hiệu chỉnh, độ chính xác giảm ở vùng biên, phụ thuộc vào tay đòn và lắp ráp.

#### 2.4.3 Polar (Hệ tọa độ cực)

- Nguyên lý: Di chuyển theo trục quay ( $\theta$ ), trục tịnh tiến (r), và trục Z cho chiều cao.
- Ưu điểm: Hiệu quả với vật thể đối xứng tròn, giảm chuyển động tuyến tính.
- Nhược điểm: Khó điều khiển (cần thuật toán đặc biệt), độ chính xác không đồng đều, ít phổ biến, khó mở rộng cho vật thể phi tròn.

#### 2.4.4 Lý do chọn hệ chuyển động Cartesian:

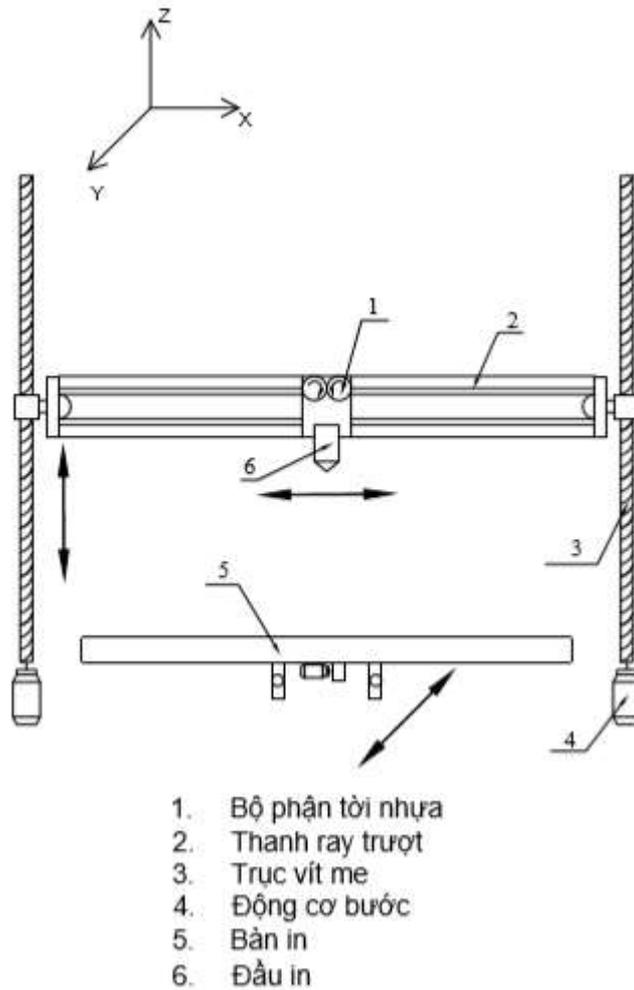
- Độ chính xác cao, chuyển động tuyến tính theo trục X, Y, Z rõ ràng.
- Cơ cấu đơn giản, dễ gia công, lắp ráp và bảo trì.
- Chi phí thấp, sử dụng linh kiện phổ thông, dễ tìm.
- Dễ hiệu chỉnh và điều khiển, tương thích tốt với firmware và phần mềm slicer chuẩn.
- Phù hợp in vật thể đa dạng, không giới hạn hình dạng như Polar hay Delta.
- Tính mở rộng cao, dễ nâng cấp lên CoreXY để tăng tốc độ và hiệu suất.

### 2.5. Các phương án thiết kế kết cấu máy

#### 2.5.1. Phương án 1 truyền động theo phương XZ

Truyền động Cartesian – XZ:

Trong kết cấu này bàn in sẽ dịch chuyển theo phương Y, đầu phun sẽ dịch chuyển theo phương XZ. 2 trục XY sử dụng bộ truyền đai, trục Z sử dụng bộ truyền vít me – đai ốc.



Hình 2.1: Phương án 1

Ưu điểm của kết cấu này là:

- Kết cấu đơn giản, dễ thi công.
- Chi phí rẻ, độ cứng vững tương đối cao.

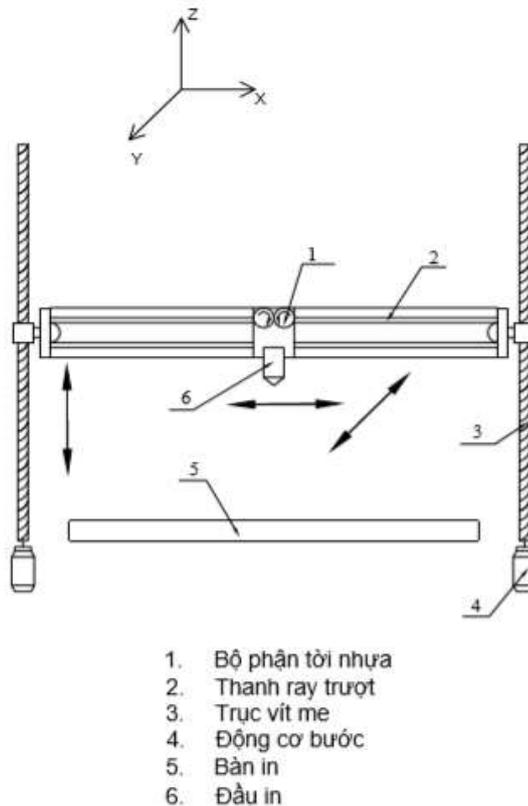
Nhược điểm của nó là:

- Độ chính xác của mẫu in không cao.
- Do bàn in di chuyển nên dễ làm cho những lớp in đầu tiên dễ bị dịch chuyển làm sai lệch mẫu in.
- Do khối lượng các cơ cấu di động lớn nên quán tính lớn, dễ rung động.

### 2.5.2. Phương án 2 truyền động theo phương XYZ

Truyền động Cartesian– XYZ.

Trong kết cấu này bàn in sẽ đứng im, đầu phun nhựa dịch chuyển theo phương XYZ, 2 trục XY sử dụng bộ truyền đai theo cơ cấu Core XY, trục Z sử dụng bộ truyền vít me đai ốc.



Hình 2.2: Phương án 2

Kết cấu này có ưu điểm là:

- Các kết cấu di động nhỏ nên quán tính máy nhỏ, di chuyển êm
- Độ cứng vững khá cao, có thể in được vật có chiều cao lớn
- Độ chính xác và thời gian in nhanh hơn kết cấu Cartesian – XZ

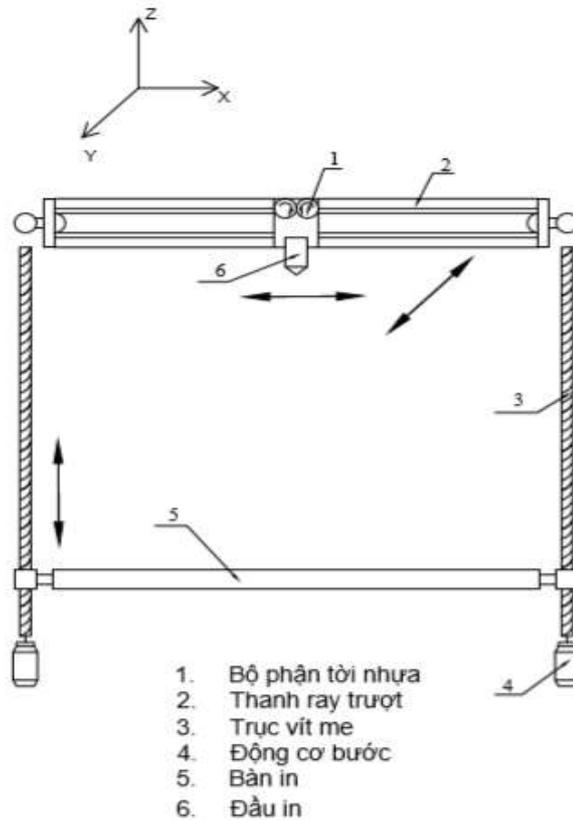
Nhược điểm của máy là:

- Khổ máy lớn, gây khó khăn cho quá trình di chuyển
- Khó căn chỉnh bàn máy
- Giá thành cao hơn mẫu máy sử dụng kết cấu Cartesian – XZ

### 2.5.3. Phương án 3 truyền động theo phương XY

Truyền động Cartesian – XY.

Trong kết cấu này bàn in sẽ dịch chuyển theo phương Z, đầu phun nhựa dịch chuyển theo phương XY. 2 trục XY sử dụng bộ truyền đai theo cơ cấu CoreXY, trục Z sử dụng bộ truyền vít me đai ốc.



Hình 2.3: Phương án 3

Ưu điểm của kết cấu này:

- Kết cấu đơn giản, dễ lắp đặt.
- Có thể in với tốc độ cao hơn so với kết cấu Cartesian – XZ và tương đương với kết cấu delta.
- Các kết cấu di động nhỏ nên quán tính nhỏ, máy hoạt động êm hơn. - Độ chính xác tương đương hoặc cao hơn máy delta.

Nhược điểm là:

- Khó căn chỉnh bàn in.
- Kích thước máy có thể hơi lớn và cồng kềnh.

## 2.6. Lựa chọn phương án

Dựa vào những ưu điểm cũng như khuyết điểm của từng kết cấu như trên nhóm đã quyết định sử dụng phương án 2 – Cartersian XY cho máy.

### **2.7. Lý do chọn cơ cấu CoreXY**

Dựa trên phân tích so sánh, cơ cấu CoreXY được lựa chọn cho đồ án này vì:

- Tính năng vượt trội: Tốc độ in cao, độ chính xác tốt.
- Xu hướng phát triển: Được ứng dụng trong các máy in 3D cao cấp.
- Giá trị học thuật: Cơ cấu phức tạp, thách thức trong thiết kế.
- Ứng dụng thực tế: Phù hợp cho sản xuất và nguyên mẫu.

### **2.8. Trình tự thực hiện**

- Tính toán thiết kế truyền động đai cho trục XY.
- Tính toán thiết kế truyền động vít me – đai ốc cho trục Z.
- Thiết kế, gia công các chi tiết máy.
- Lựa chọn, tính toán phần điện.

### Chương 3: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ

#### 3.1. Thiết kế cụm cơ khí trục Z

Trục Z là trục ít di chuyển nhất trong quá trình làm việc, tuy nhiên nó có yếu tố quyết định đến chất lượng sản phẩm nhất vì nó liên quan đến chiều dày của mỗi lớp in, thông số này ảnh hưởng đến độ bóng cũng như dung sai kích thước về chiều cao của chi tiết.

Thông thường đối với trục Z ta có thể sử dụng truyền động vít me – đai ốc, vít me đai ốc bi, truyền động đai.

Truyền động đai có kết cấu nhỏ gọn tiết kiệm, hoạt động êm, dễ thiết kế nhưng trục Z chuyển động tịnh tiến lên xuống sẽ dễ gây trượt đai. Truyền động vít me – đai ốc được sử dụng trên trục Z vì nó có hiệu suất cao, ít gây ra sự trượt, vận hành êm.

##### 3.1.1. Tính toán truyền động vít me đai ốc.

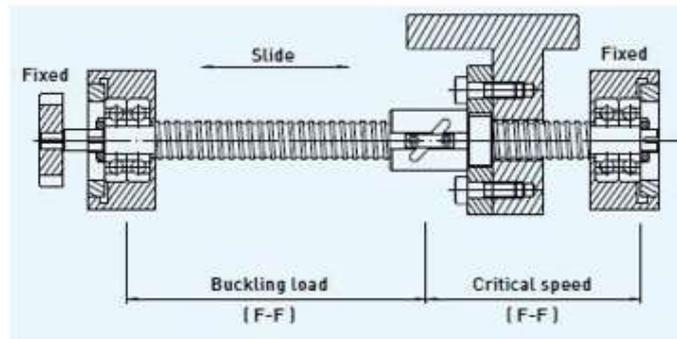
Thông số cụm trục Z:

- + Khối lượng bàn in  $m=2\text{kg}$
- + Vận tốc di chuyển tối đa:  $V_1=20\text{mm/s}$
- + Vận tốc di chuyển khi in:  $V_2=5\text{mm/s}$
- + Gia tốc hoạt động lớn nhất của hệ thống:  $a=2\text{mm/s}^2$
- + Tốc độ vòng quay của động cơ:  $N=1000\text{vg/phút}$
- + Thời gian làm việc:  $T=21900\text{h}$  (5 năm ngày 12h)

Lựa chọn kiểu lắp trục vít:

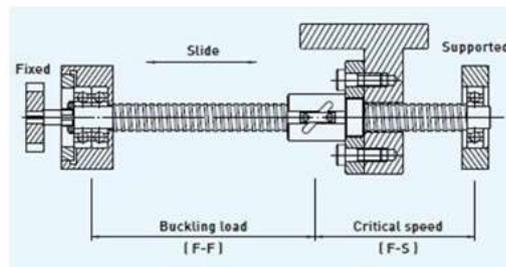
Có 3 kiểu lắp thường được sử dụng fixed – fixed, fixed – support, fixed – free.

Kiểu fixed – fixed hai đầu vít me được cố định, với kiểu lắp này đạt độ cứng vững cao, chịu được tải trọng cao giảm sự rung động của trục Z nhưng kết cấu phức tạp, khó lắp đặt.



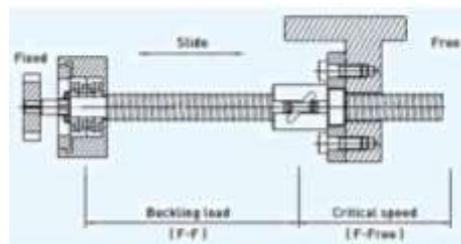
Hình 3.1: Kiểu lắp vít me fixed – fixed

Kiểu fixed – support một đầu được gắn vào ổ bi, kiểu lắp này có độ cứng thấp hơn so với fixed – fixed, khả năng chịu tải trung bình.



Hình 3.2: Kiểu lắp vít me fixed – support

Kiểu fixed – free một đầu vít me để tự do, kiểu lắp này kết cấu đơn giản nhất, dễ lắp đặt, chịu tải trong thấp tương đương với kiểu fixed – support, độ cứng vững thấp hơn kiểu fixed – fixed.



Hình 3.3: Kiểu lắp vít me fixed – free

Sau khi phân tích thì nhóm chọn kiểu lắp fixed – free, một đầu cố định một đầu tự do để lắp cho trục Z của máy in 3D.

\*\*\* Tính toán trục vít me

Tính toán bước vít me:

$$l \geq \frac{V_{max}}{N_{max}} = \frac{9000}{2000} = 4,5 \text{ mm}$$

Chọn  $l = 8 \text{ mm}$

Tính toán lực dọc trục gồm có:

- + lực ma sát của vít me và đai ốc, thanh trượt và con trượt
- + lực quán tính khi có gia tốc.
- + trọng lực của bàn in

Các thành phần trong công thức:

- + gia tốc trọng trường  $g = 10 \text{ m/s}^2$
- + gia tốc hoạt động lớn nhất của hệ thống  $a = 1 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} F_a &= (P + F_{ms1} + F_{ms2}) \cdot S \\ &= (m \cdot g + m \cdot g \cdot f) \cdot 2 = (2 \cdot 10 + 2 \cdot 10 \cdot 0,01) \cdot 2 = 40,4 \text{ (N)} \end{aligned}$$

Trong đó:

- +  $f = 0,01$  hệ số ma sát
- +  $S = 2$  hệ số an toàn

Tính toán tải trọng động:

$$C_{ax} = (60 \cdot N_m \cdot L_t)^{\frac{1}{3}} \cdot F_{mx} \cdot 10^{-2} = (60 \cdot 125 \cdot 21900)^{\frac{1}{3}} \cdot 0,21 \cdot 10^{-2} = 1,15 \text{ (kgf)}$$

Tính chọn đường kính trục vít

Ta chọn phương án bố trí là một đầu cố định một đầu tủy động

$$\begin{aligned} L &= \text{tổng chiều dài di chuyển max} + \text{chiều dài ổ bi} + \text{chiều dài vùng thoát} \\ &= 300 + 30 + 30 = 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kiểu ổ bi là một đầu cố định một đầu tủy động sau ra  $f = 15,1$

Tốc độ quay của động cơ 1000 rpm.

Đường kính trục vít:

$$d_{ry} \geq \frac{n \cdot L^2}{f} \cdot 10^{-7} = \frac{1000 \cdot 360^2}{15.1} \cdot 10^{-7} = 0,85(mm)$$

Vậy ta chọn đường kính trục vít là  $d = 8 \text{ mm}$

Tốc độ quay cho phép:

$$n = f \cdot \frac{d_r}{L^2} \cdot 10^7 = 15,1 \cdot \frac{8}{360^2} \cdot 10^7 = 9320,98 \left(\frac{vg}{ph}\right)$$

Trong đó  $d_r$  là đường kính lõi ren = 8 mm

Tốc độ này lớn hơn với tốc độ quay lớn nhất được thiết kế. Do vậy lựa chọn như trên thoả mãn.

### 3.1.2 Tính toán chọn động cơ trục Z

- + Hệ số ma sát trượt: ta chọn  $\mu = 0,12$
- + Gia tốc trọng trường  $g = 10 \text{ m/s}^2$
- + Khối lượng phần dịch chuyển  $m = 2 \text{ kg}$
- + Góc nghiêng của trục:  $\alpha = 0^\circ$
- + Tỷ số truyền giảm tốc  $i = 1$
- + Hiệu suất của động cơ: chọn  $\eta = 0,9$
- + Lực cản do ma sát lớn nhất  $F_m = 0,2 \text{ N}$

\*Tính momen cản do ma sát trục trên khớp nối động cơ

$$M_c = \frac{\mu \cdot F \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot \eta} = \frac{0,12 \cdot 40 \cdot 4 \cdot \cos 0}{2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 0,9} = 0,021 \text{ N.m}$$

\*Tính momen phát sinh do truyền động không đồng trục:

$$M_{wz} = M_c$$

\*Tính vận tốc dài

Với đường kính trục vít chọn là 8mm:

$$v_{max} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 1000}{60 \cdot 1000} = 0,42 \text{ m/s}$$

\*Tính momen cản do ma sát tĩnh của phần dịch chuyển:

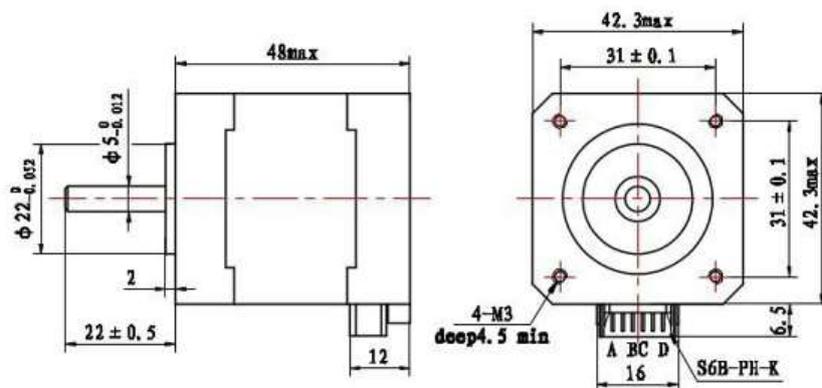
$$M_{mach} = \frac{\mu \cdot F_m}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta \cdot v_{max}} = 0,035 N \cdot m$$

\*Momen cần thiết để mở máy

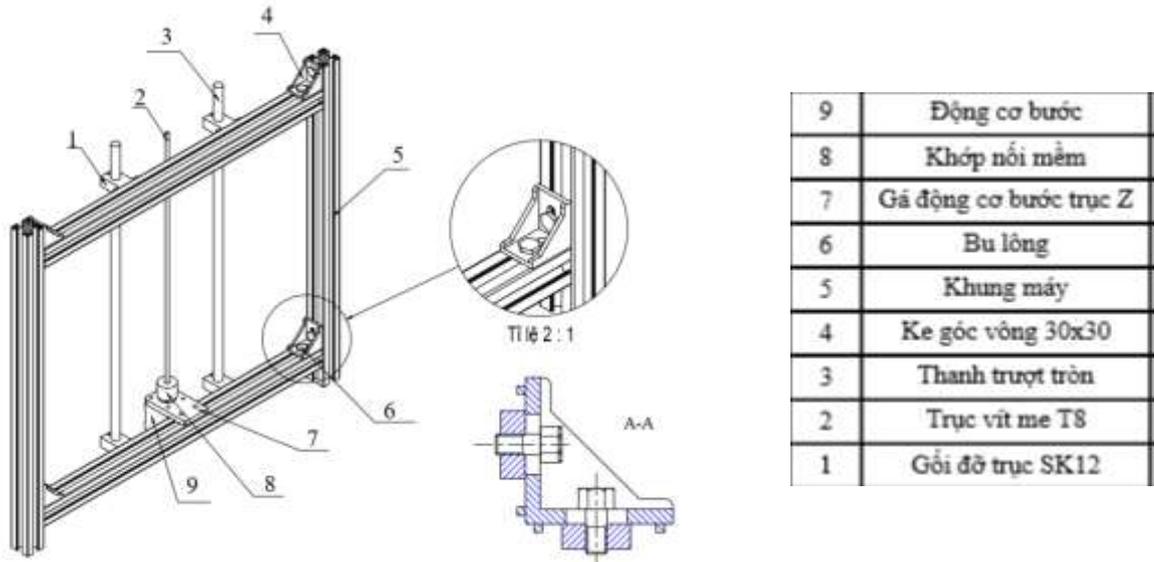
$$M_{mo} = M_{wz} + M_c = 0,035 + 0,021 = 0,056 N \cdot m$$

Dựa vào thông số tính được ta chọn động cơ có mã 42H47HM - 0504A - 18. Một số thông số của động cơ:

- + Góc bước nhỏ nhất:  $1,8^\circ$
- + Momen xoắn:  $T_{rate} = 0,45 (N \cdot m)$
- + Momen quán tính:  $J_m = 72 \cdot 10^{-4} (g \cdot cm^2)$
- + Khối lượng motor:  $m = 367 (g)$
- + Dòng định mức:  $I = 1,7 (A)$
- + Momen hãm:  $T = 37 \cdot 10^{-4} (N \cdot m)$



Hình 3.4: Bản vẽ động cơ bước

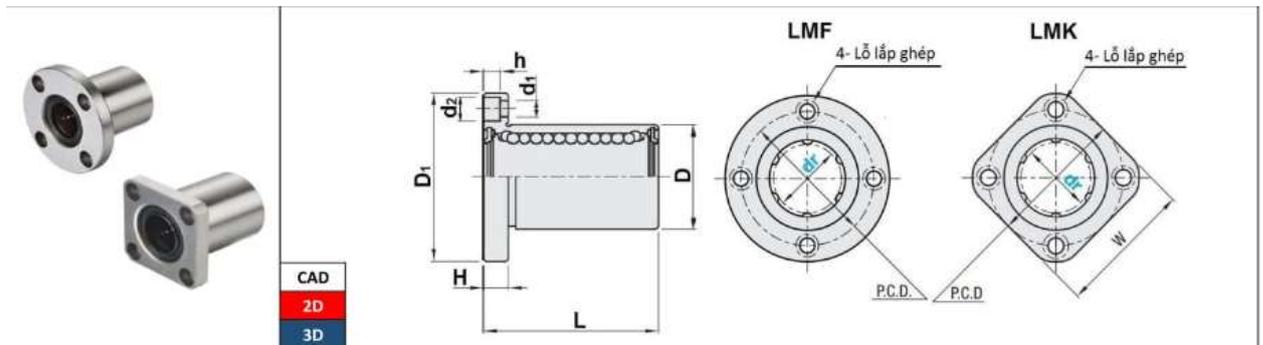


9	Động cơ bước
8	Khớp nối mềm
7	Gá động cơ bước trục Z
6	Bu lông
5	Khung máy
4	Ke góc vòng 30x30
3	Thanh trượt tròn
2	Trục vít me T8
1	Gối đỡ trục SK12

Hình 3.5: Bản vẽ cụm trục z.

### 3.1.3 Trục dẫn hướng và bạc dẫn hướng

Lựa chọn bạc dẫn hướng LMK12UU có chiều dài tương đối, giảm rung lắc khi trượt

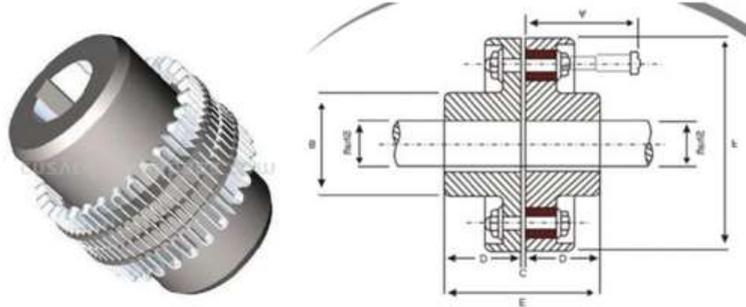


Mã hàng	dr		D		L		D1	W	H	P.C.D	d1	d2	h	Độ vuông góc	Độ lệch tâm	Mức tải trọng	
	Dung sai		Dung sai		Dung sai											C (N) (Động)	Co (N) (Tĩnh)
LMF6UU	6		12		19		28	22	5	20	3.5	6	3.1	0.012	0.012	210	270
LMK6UU																	
LMF8SUU	8		15	0 -0.011	17		32	25	5	24	3.5	6	3.1	0.012	0.012	180	220
LMK8SUU																	
LMF8UU	8		15		24		32	25	5	24	3.5	6	3.1	0.012	0.012	280	400
LMK8UU																	
LMF10UU	10	0 -0.009	19		29		40	30	6	29	4.5	7.5	4.1	0.012	0.012	380	560
LMK10UU																	
LMF12UU	12		21	0 -0.013	30		42	32	6	32	4.5	7.5	4.1	0.012	0.012	520	800
LMK12UU																	
LMF13UU	13		23		32		43	34	6	33	4.5	7.5	4.1	0.012	0.012	520	800
LMK13UU																	

Hình 3.6: Thông số con Trượt

### 3.1.4. Khớp nối

Khớp nối là chi tiết máy có nhiệm vụ truyền chuyển động, truyền momen giữa 2 trục với nhau



Hình 3.7: Một số loại khớp nối

Khớp nối gồm: nối trục, ly hợp và ly hợp tự động. Khớp nối là chi tiết tiêu chuẩn. Thông thường đối với các dòng máy in 3D ta thường dùng loại khớp nối đàn hồi bằng hợp kim nhôm do kích thước khớp nối nhỏ gọn, khả năng truyền momen xoắn cao.

Ta lựa chọn khớp nối loại PC1, do đường kính motor là 5mm, chọn loại có kích thước 2 đầu trục là 5 – 8.



型号 Model	d1, d2, 轴径 Bore	∅D	L	L1	L2	F	M	额定扭矩 N·m Weight Torque
RS17X18	2, 3, 4, 5, 6, 6.25	17	18	0.4	1.8	2.5	M3	1.2
RS18X20	3, 4, 5, 6, 6.25, 7	18	20	0.4	2.0	3.3	M3	1.2
RS18X23	3, 4, 5, 6, 6.25, 7	18	23	0.4	2.0	3.6	M3	1.2
RS20X25	4, 5, 6, 6.25, 7, 8, 8.5, 9, 9.5, 10	20	25	0.4	2.0	3.3	M4	2.0
RS25X30	6, 8, 8.5, 9, 9.5, 10, 11, 11.5, 12, 12.5, 13, 13.5, 14, 14.5, 15	25	30	0.4	2.0	4.7	M4	2.5
RS30X35	8, 9, 9.5, 10, 10.5, 11, 11.5, 12, 12.5, 13, 13.5, 14, 14.5, 15, 15.5, 16, 16.5, 17, 17.5, 18, 18.5, 19, 19.5, 20	30	35	0.4	2.0	6.0	M4	2.5

Hình 3.8: Thông số và kích thước khớp nối

## 3.2. Thiết kế cơ khí cụm trục XY

### 3.2.1. Kết cấu truyền động XY

Kết cấu truyền động cho 2 trục XY mà nhóm lựa chọn cho đề án là truyền động CoreXY. Kết cấu truyền động này thực chất là một biến thể của truyền động theo tọa độ Dercasrte, tuy nhiên sẽ phối hợp đồng thời chuyển động theo 2 phương để xác định vị trí của điểm trong tọa độ. Đây là một ưu điểm cũng là một nhược điểm của cơ cấu này.

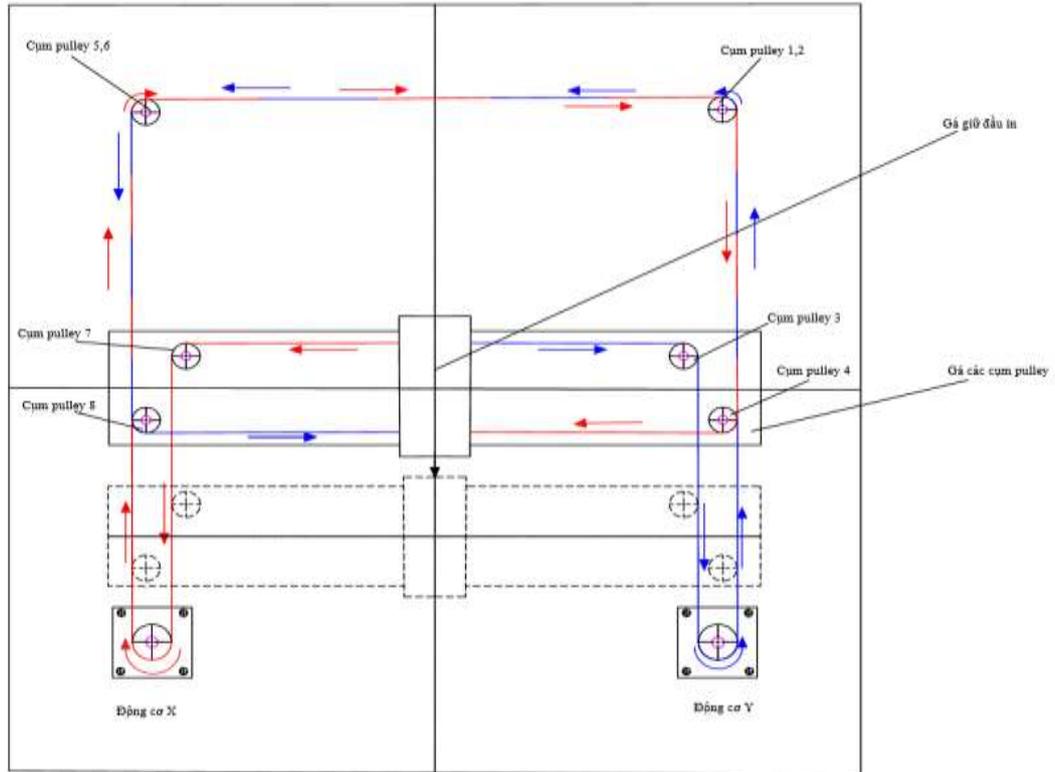
Ưu điểm đó chính là do có 2 động cơ cùng phối hợp chuyển động do do cung cấp một momen lớn hơn, như vậy có thể hỗ trợ cho cụm trục có khối lượng lớn hoặc cũng có thể sử dụng đồng thời 2 động cơ có momen nhỏ hơn vẫn truyền động được cho cum trục này.

Tuy nhiên một nhược điểm có thể gây ra đó chính là khả năng gây ra sai số, và hiện tượng nhiễu khi cấp xung cho động cơ. Do cùng một lúc 2 động cơ cùng hoạt động nên sẽ dễ gây ra hiện tượng sai số tích lũy của 2 động cơ, có thể ảnh hưởng đến quá trình vận hành thiết bị.

Đối với dạng truyền động này ưu điểm lớn nhất chính là tốc độ. Thường đối với một số dòng máy in 3D như Prusa, Mendel động cơ là bộ phận cung cấp năng lượng truyền chuyển động thường đặt trên bộ phận di chuyển làm cho khối lượng của các bộ phận di chuyển tăng lên khiến cho quán tính lớn nên tốc độ in giảm đi. Ở kết cấu này, các bộ phận di động có kết cấu nhỏ, nhẹ nên giảm được lực quán tính nên có thể in với tốc độ cao hơn.

Một ưu điểm nữa của cơ cấu CoreXY là sự đơn giản trong thiết kế cơ cấu. Cơ cấu này có thể lắp đặt khá đơn giản với chỉ các tấm đỡ và các cụm bạc đạn dùng để dẫn hướng cho đai. Chi phí lắp đặt thấp, vật liệu sử dụng để gia công các chi tiết khá linh hoạt, có thể sử dụng nhiều loại vật liệu khác nhau.

Đối với cơ cấu này khi 2 động cơ quay cùng chiều với nhau sẽ tạo thành chuyển động theo trục X, khi 2 động cơ quay ngược chiều nhau sẽ tạo thành chuyển động theo trục Y.



Hình 3.9: Sơ đồ nguyên lý truyền động CORE XY

Phương trình truyền động của cơ cấu

$$\Delta X = \frac{1}{2}(\Delta A + \Delta B)$$

$$\Delta Y = \frac{1}{2}(\Delta A - \Delta B)$$

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y$$

$$\Delta B = \Delta X - \Delta Y$$

### 3.2.2. Lựa chọn bộ truyền

Xác định modul và chiều rộng đai

Modul được xác định theo công thức:

$$m = 35x \sqrt[3]{\frac{P_1}{n_1}}$$

Trong đó:

+  $P_1$  là công suất trên bánh đai chủ động

+  $n_1$  là số vòng quay trên bánh đai chủ động v/g/ph

$$m = 35 \sqrt[3]{\frac{P_1}{n_1}} = 35 \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 10^{-4}}{20}} = 1.022$$

Chiều rộng đai b:

$$b = \psi_d \cdot m$$

Trong đó  $\psi_d = 6 \dots 9$  là hệ số chiều rộng đai chọn giá trị nhỏ khi lấy modul tiêu chuẩn lớn hơn modul tính toán và lấy giá trị lớn hơn khi chọn ngược lại. chiều rộng b lấy trong bảng tiêu chuẩn.

Modul của đai m, mm	Chiều rộng đai răng b, mm
1	3; 4; 5; 8; 10; 12,5
1,5	3; 4; 5; 8; 10; 12,5; 16; 20
2	5; 8; 10; 12,5; 16; 20
3	12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50
4	20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100
5	25; 32; 40; 50; 63; 80; 100
7	40; 50; 63; 80; 100; 125
10	50; 63; 80; 100; 125; 160; 200

Từ kết quả phân tích trước ta chọn bề rộng đai  $b=5\text{mm}$

Tính toán lực trên đai:

Khác với các truyền động đai khác phải mắc lên bánh đai ban đầu một lực căng đủ lớn để tạo ra lực ma sát cần thiết thì trong truyền động đai răng lực căng ban đầu chỉ nhằm khắc phục khe hở khi ăn khớp và đảm bảo đai tiếp xúc tốt với bánh đai. Nó chỉ cần lớn hơn với lực ly tâm sinh ra.

Ta có momen xoắn trên trục động cơ

$$T = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-4}}{20} = 238.75 \text{ (N/m)}$$

Lực vòng:

$$F_t = \frac{2T}{d} = \frac{2 \cdot 238,75}{12,22 \cdot 10^{-3}} = 0,05 \text{ (N)}$$

Lực tác dụng lên trục:

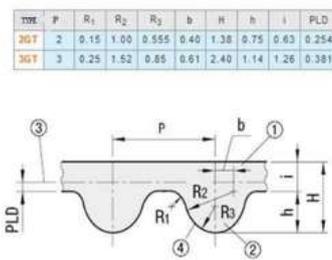
$$F_r = (1 \div 1,2)F_t = (1 \div 1,2).0,05 = 0.055(N)$$

Vậy ta chọn lực ban đầu là  $F_0=0.06 (N)$

Đối với truyền động trục XY ta lựa chọn bộ truyền đai răng do kết cấu bộ truyền đơn giản, hoạt động êm, có tính giảm chấn, dễ thay thế.

Một số kiểu đai thường được sử dụng trong máy in 3D như đai T2,5; T5; MXL, ... Tùy theo khả năng điều chỉnh căng đai mà chất lượng in cũng thay đổi theo. Mặt khác những loại đai trên đều là những loại đai được thiết kế để truyền chuyển động quay không phải thiết kế tối ưu cho dạng truyền động tuyến tính cho máy in 3D, do đó nó sẽ không tính toán đến hiện tượng backlash khi đảo chiều chuyển động của động cơ.

Để khắc phục ta sẽ lựa chọn loại đai được thiết kế riêng cho truyền động tuyến tính là đai GT2. Đai GT2 và bánh đai được thiết kế và chế tạo đồng bộ dành riêng cho truyền động tuyến tính do đó hạn chế được hiện tượng backlash, đảm bảo chất lượng truyền động. Ngoài đai GT2 có thể sử dụng đai GT3 tuy nhiên loại đai này khó tìm trên thị trường Việt Nam.



Hình 3.10: Đai GT2 và pulley

Hình 3.11: Thông số đai GT2

Lựa chọn bánh đai GT2 – 20 răng để tăng độ phân giải cho 2 trục.

### 3.2.3. Thiết kế sơ bộ cụm XY

Cụm trục XY đảm bảo hầu hết các chuyển động di chuyển khi in và yêu cầu của bộ trục này là:

- + Đảm bảo độ vuông góc giữa 2 trục X và Y
- + Các chi tiết đỡ đảm bảo độ phẳng.
- + 2 thanh trượt đảm bảo lắp song song với nhau

Chiều dài cụm trục X:

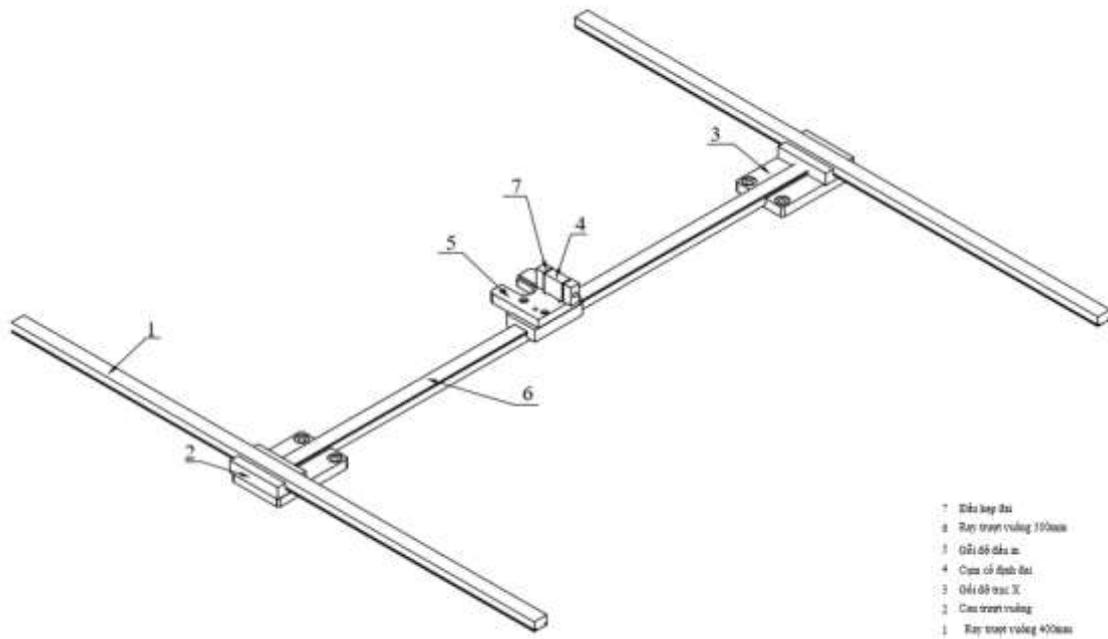
$$L_x = S_x + 2 \cdot \text{chiều dày đồ gá} + \text{khoảng an toàn} = 300 + 2 \cdot 30 + 30 = 390 \text{ mm}$$

Chiều dài cụm trục Y:

$$L_y = S_y + 2 \cdot \text{khoảng cách 2 bạc đạn} + \text{khoảng an toàn} = 300 + 30 + 25 = 355 \text{ mm}$$

Chiều dài đai:

$$L_d = 2 \cdot L_x + 2 \cdot L_y = 2 \cdot 390 + 2 \cdot 355 = 1490 \text{ mm}$$



Hình 3.12: Bản vẽ cụm trục xy.

### 3.3. Bộ phận tời và đùn nhựa

#### 3.3.1. Cụm tời nhựa

Để nhựa được cung cấp liên tục cần phải có 1 cơ cấu để kéo sợi nhựa một cách liên tục. Bộ tời nhựa được điều khiển bởi một động cơ bước. Động cơ bước quay làm quay bánh răng gắn trên động cơ sẽ đẩy sợi nhựa xuống bộ phận gia nhiệt.

Thông số kỹ thuật:

- Điện áp cấp: 20 V.
- Công suất: 40 W.

- Kích thước đầu nung: 6x20mm (đường kính x chiều dài).
- Chiều dài dây: 150mm.
- Trọng lượng: 20g.
- Động cơ bước 42 và đầu nối ống teflon ren nhỏ.
- Tương thích với nhựa in có đường kính 1,75mm.



Hình 3.13: Bộ tời nhựa MK8

### 3.3.2. Đầu phun gia nhiệt

Đầu phun là nơi nung nóng sợi nhựa và đùn nhựa ra tạo mẫu in. Hầu hết các bộ phận ở đầu phun đều được chế tạo bằng hợp kim nhôm để đảm bảo tính tản nhiệt tốt. Đầu phun gồm có các bộ phận:

- Khối tản nhiệt nhằm nhiệm vụ giảm nhiệt độ ở vùng phía trên đầu phun nhằm hạn chế nhựa bị chảy lỏng trước khi được phun ra làm tắc đầu phun nhựa, tràn nhựa làm ảnh hưởng đến chất lượng đầu phun nhựa.
- Lõi dẫn nhựa nhằm nhiệm vụ định hướng đường đi của sợi nhựa vào đúng đầu phun. Lõi dẫn nhựa thường được chế tạo bằng nhôm bên trong có lót ống làm bằng nhựa teflon dùng để dẫn hướng và cách nhiệt cho sợi nhựa.
- Cục nóng bao gồm điện trở gốm có tác dụng gia nhiệt, cảm biến nhiệt độ để điều khiển nhiệt độ nóng chảy của nhựa. Đây là bộ phận nóng nhất trên đầu phun do

đó cần cần có biện pháp an toàn, tránh tiếp xúc trực tiếp với bộ phận này. Thường cục nóng được bọc với lớp băng keo cách nhiệt để tránh thoát nhiệt ra ngoài, tăng hiệu quả quá trình nung chảy nhựa.

- Đầu phun là nơi định hình kích thước của nhựa lỏng khi được phun ra thường có các kích thước đầu phun từ 0,1 mm đến 0,5 mm. Tùy theo kích thước đầu phun thì có giới hạn về kích thước một lớp in khác nhau. Đầu phun đường kính nhỏ thì bề dày một lớp in càng nhỏ tuy nhiên sẽ dễ xảy ra hiện tượng tắc nhựa, tràn nhựa nếu chất lượng đầu phun không tốt.

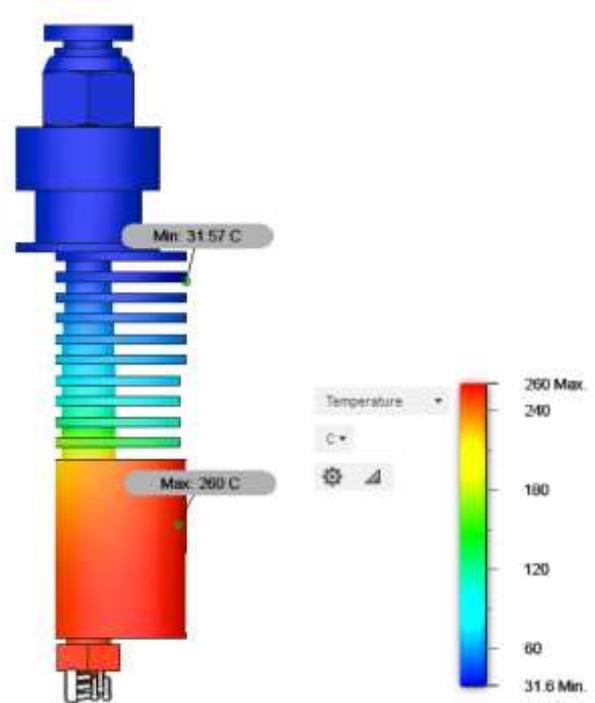
- Thông số kỹ thuật:

Vật liệu: nhôm, đầu phun và đầu nối ống dẫn nhựa teflon bằng đồng.

Đường kính nhựa sử dụng : 1,75mm.



Hình 3.14: Bộ đầu phun nhựa e3d – V6



Hình 3.15: Sơ đồ phân bố nhiệt độ đầu in

### 3.3.3. Sợi nhựa

Vật liệu được sử dụng trong máy in 3D là nhựa dạng sợi. Sợi nhựa sử dụng trong máy in 3D phải là sợi nhựa nguyên chất, không pha tạp, không nên dùng sợi nhựa tái chế

thường bị lẫn cát, sạn, bụi bẩn, ... khi sử dụng dễ làm tắc đầu phun nhựa ảnh hưởng đến chất lượng mẫu in, ....

Đường kính sợi nhựa được chế tạo tiêu chuẩn có 2 loại đường kính là 1,75 mm và 3 mm. Dung sai sợi nhựa thường là  $\pm 0,05$  mm. Đường kính sợi nhựa phải được chế tạo đồng đều vì nếu đường kính sợi nhựa không đồng đều, ở chỗ sợi nhựa bị thu hẹp đường kính bất thường thì đầu phun không đủ lực để kéo sợi nhựa vào, ngược lại, đường kính sợi nhựa có chỗ lớn bất thường sẽ làm tắc đầu phun.

Có 2 loại vật liệu thường được sử dụng trong các máy in 3D FDM hiện nay là nhựa ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) và nhựa PLA (Polylactic Acid).

Nhựa ABS là nhựa nhiệt dẻo. Nhựa ABS có cơ tính tốt, nhiệt độ in cao (nhiệt độ in tùy theo nhà sản xuất nhưng thường lớn hơn  $230^{\circ}\text{C}$ ), do in với nhiệt độ cao như vậy nên trong quá trình in sản phẩm có thể bị cong vênh, gãy do đó nên thiết kế thêm các hệ thống support để hạn chế hiện tượng này. Mặt khác các lớp đầu tiên của mẫu in thường không kết dính với bàn in do bị nguội quá nhanh cũng là một khuyết điểm khi in nhựa ABS. Sản phẩm từ nhựa PLA có thể làm mịn bằng Acetol (xăng thơm).

Nhựa PLA là nhựa nhiệt dẻo thường có nguồn gốc tự nhiên, do đó khá thân thiện và không gây độc hại khi sử dụng. Nhựa PLA tương đối giòn, dễ bị gãy trong quá trình in là tắc đầu phun nhựa. Nhiệt độ in của nhựa PLA thấp chỉ từ  $190^{\circ}$  đến  $210^{\circ}\text{C}$  nên quá trình in dễ dàng hơn so với nhựa ABS. Giá thành của nhựa PLA cũng thường thấp hơn nhựa ABS từ khoảng 195.000 VNĐ đến 250.000 VNĐ.

### **3.4 Thiết kế khung máy**

Đối với kết cấu khung máy in 3D, do không chịu tải trọng quá lớn nên nhóm quyết định sử dụng nhôm định hình để làm khung máy nhằm tiết kiệm giá cả, dễ tháo lắp và sửa chữa trong quá trình lắp máy.



*Hình 3.18: Bulong và ke góc*

## Chương 4: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN VÀ ĐIỀU KHIỂN

### 4.1. Tính toán thiết kế hệ thống điện.

Để hệ thống hoạt động được luôn cần phần điện. Hệ thống điện chịu trách nhiệm cung cấp nguồn điện, điều khiển các thiết bị trong kết cấu máy như động cơ bước, cụm tời nhựa, đầu phun nhựa.



Hình 4.1: Sơ đồ sơ bộ hệ thống nối điện

#### 4.1.1. Khối nguồn

Khối nguồn là bộ phận cung cấp năng lượng cho toàn bộ hệ thống điện trong máy. Đối với máy in 3D cần cần phải hoạt động ổn định nên nguồn cấp phải đảm bảo về điện áp và dòng điện luôn ổn định. Ta có 2 lựa chọn cho bộ nguồn của máy in 3D, sử dụng nguồn tổ ong hoặc nguồn LITEON.



Hình 4.2: Nguồn tổ ong



Hình 4.3: Nguồn LITEON

Để lựa chọn bộ nguồn phù hợp, phải chú ý đến các thiết bị sử dụng trong mạch điện. Dựa vào thông số về điện áp và dòng điện yêu cầu trên các linh kiện điện để có thể lựa chọn nguồn nuôi thích hợp. Dưới đây là một số linh kiện điện tử và điện áp yêu cầu của các linh kiện đó:

Linh kiện	Số lượng	Thông số
Board Arduino mega 2560	1	6-24V; 50mA
Driver A4988	4	5V; 0.5A
Động cơ bước	5	12V; 1.2A
Board RAMPS 1.4	1	12V;5A
Quạt tản nhiệt	3	12V; 50mA
LCD	1	5V;0.4A

Bảng 4.1: Một số linh kiện

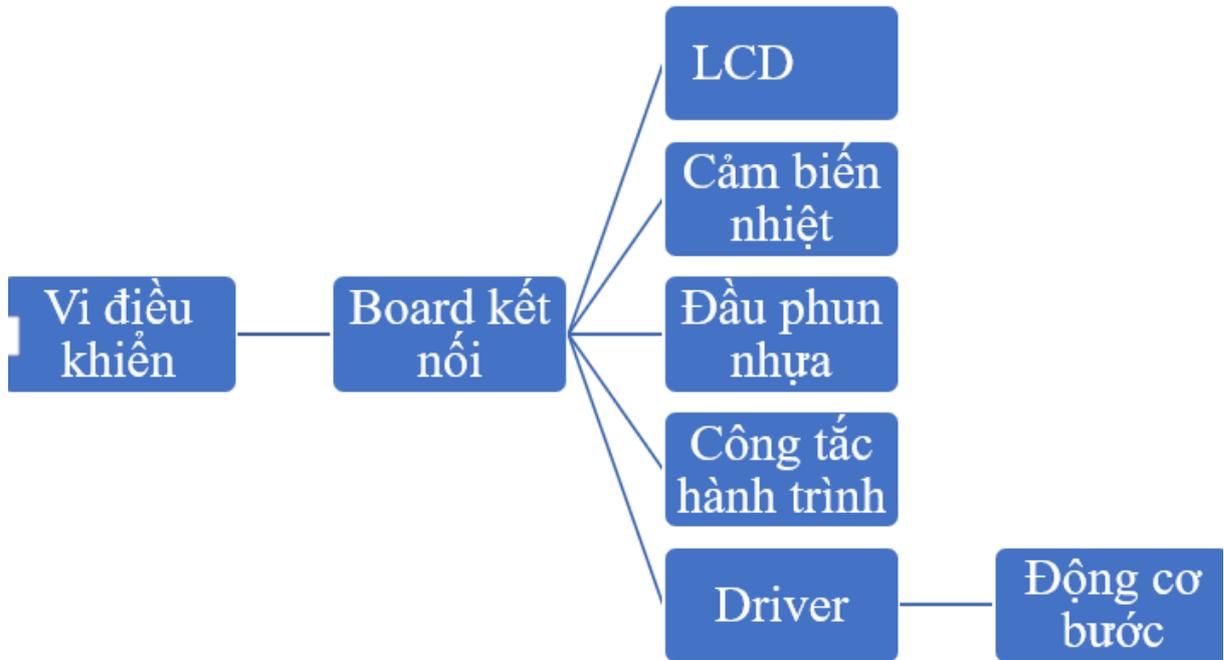
Các thiết bị điện trong máy có dải điện áp hoạt động từ 6 V – 24 V nên ta chọn bộ nguồn từ 12 V – 5 A để đảm bảo cung cấp đủ điện áp và dòng cho động cơ và các thiết bị khác.

Xét về điện áp và cường độ dòng điện cung cấp nguồn tổ ong cung cấp điện áp 12 V và cường độ dòng điện 30 A còn nguồn LITEON là 12 V – 7,5 A. Xét về giá thành bộ nguồn tổ ong cao hơn giá của của bộ nguồn LITEON. Tuy nhiên để thuận lợi cho việc nâng cấp hệ thống điện sau này và đảm bảo hệ thống điện hoạt động tốt nhất ta lựa chọn nguồn tổ ong 12V – 20 A

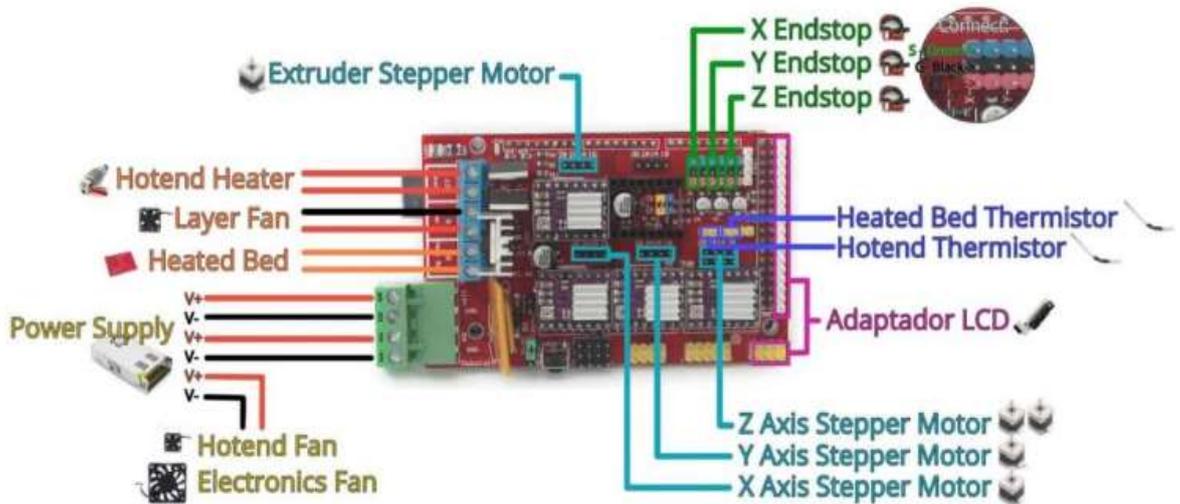
#### 4.1.2. Phân điều khiển

Phần điều khiển có những nhiệm vụ là:

- Cấp xung, điều khiển chuyển động của động cơ bước các trục chuyển động.
- Điều khiển nhiệt độ đầu phun nhựa.
- Điều khiển bộ tời nhựa.
- Điều khiển quạt làm mát đầu phun, quạt làm mát sản phẩm.



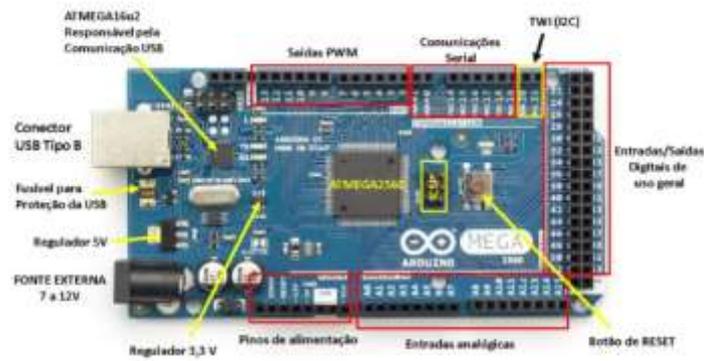
Hình 4. 4: Sơ đồ nối các linh kiện điện tử



Hình 4. 5: Sơ đồ đấu nối mạch máy in 3D

Vi điều khiển:

Board điều khiển trong đồ án này nhóm quyết định sử dụng board Arduino Mega 2560 do board mạch dễ sử dụng ngay cả với những người không chuyên, sự phổ biến dễ tìm kiếm, ngôn ngữ lập trình dễ hiểu, phần cứng được kết nối dễ dàng.



Hình 4.6: Board arduino mega 2560

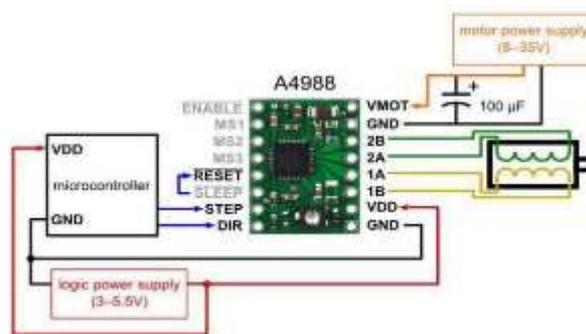
Board mạch Arduino mega 2560 là board mạch vi xử lý được thiết kế nhằm xây dựng các ứng dụng tương tác với nhau hoặc với môi trường được thuận lợi hơn. Board mạch được xây dựng trên nền tảng vi xử lý ATmega 2560 8bit. Board mạch có 54 chân digital I/O, 16 chân analog input, sử dụng bộ tạo dao động 16Mhz. Có thể sử dụng nguồn thông qua cổng USB hoặc nguồn DC từ 6 đến 20V.

Vi xử lý	Atmega 2560
Điện áp hoạt động	5V
Điện áp truyền vào	7-12V
Điện áp tối đa	6-20V
Digital I/O port	54 (15 chân PWM)
Analog Port	16
Dòng điện trên các chân I/O	20mA
Dòng điện vào	50mA
Bộ nhớ FLASH	256Kb
SRAM	8kB
EEPROM	4KB
Bộ dao động	16MHz
Chiều dài Board	101.52mm
Chiều rộng board	53.3mm
Khối lượng board	37g

Bảng 4.2: Thông số board Arduino mega 2560

Vi điều khiển có thể lập trình và flash code dễ dàng bằng phần mềm Arduino IDE. Có thể sử dụng ngôn ngữ lập trình C/C++ để lập trình. Nhìn chung ngôn ngữ lập trình của nó tương đối đơn giản và dễ hiểu ngay cả với người không chuyên về vi điều khiển. Phần mềm được dùng để flash code cho board Arduino Mega 2560 là phần mềm **Arduino IDE**. Phần mềm có giao diện trực quan, dễ sử dụng. Hệ thống thư viện và mã nguồn dành cho arduino mega khá lớn do đó thuận tiện cho quá trình sử dụng.

**A4988** là trình điều khiển cơ sở không hỗ trợ nhiều công việc, điều chỉnh độ phân giải từ bước 1/1 đến bước 1/16. A4988 hỗ trợ bước điều khiển bằng vi điều khiển.



Hình 4. 7: Sơ đồ đấu nối A4988

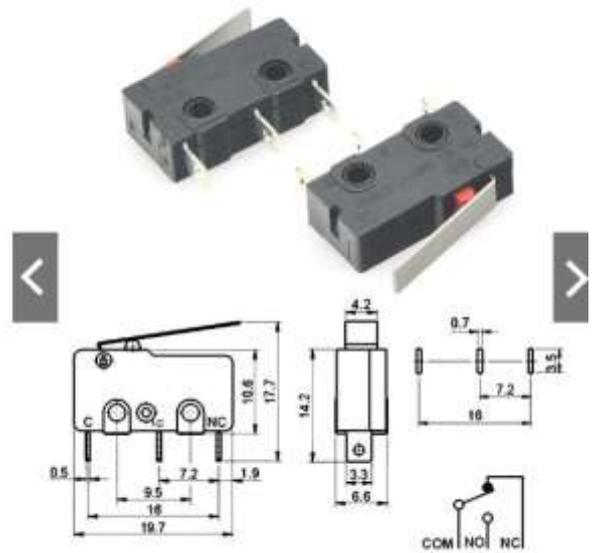
- Thông số kỹ thuật:
  - công suất ra tới 35V, dòng 2A.
  - Có 5 chế độ: full step, nửa bước, 1/4 bước, 1/8 bước và 1/16 bước.
  - Điều chỉnh độ phân giải.
  - Điện áp hoạt động: 3-12V.

- Điện áp logic: 3.3-5 VDC.

## 4.2. Công tắc hành trình

Ở đây chúng em sử dụng công tắc hành trình không có module cho 3 trục XYZ và cân bàn tự động.

Hình 4.8: Công tắc hành trình.



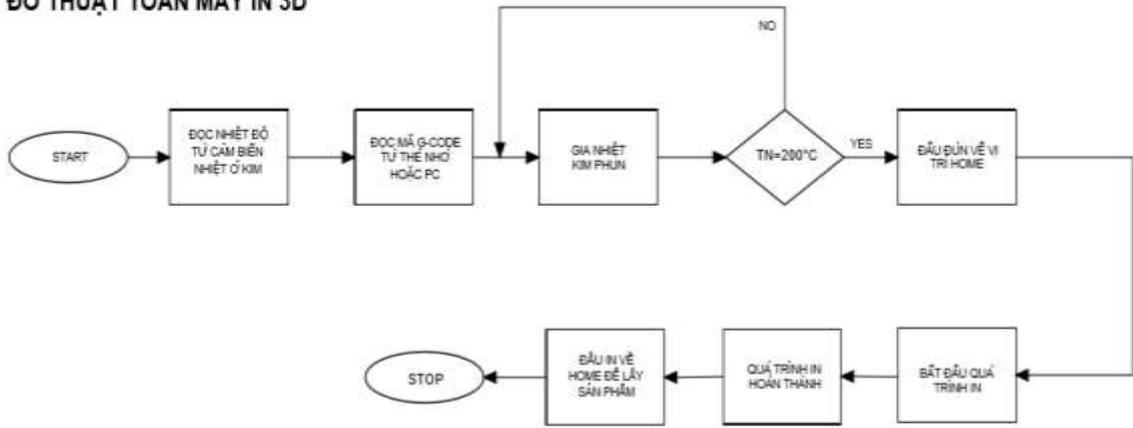
## 4.3. Lập trình điều khiển

Để đơn giản trong quá trình thiết kế chúng ta sẽ thiết lập chương trình điều khiển của **firmware Marlin**.

Firmware Marlin là một loại firmware mã nguồn mở được sử dụng phổ biến cho máy in 3D. Firmware Marlin được thiết kế để điều khiển các máy in 3D sử dụng công nghệ FDM (Fused Deposition Modeling), cũng như các thiết bị CNC khác. Nó cung cấp các tính năng và tùy chọn mở rộng, giúp người dùng tùy chỉnh và cải thiện hiệu suất của máy in 3D. Firmware Marlin hỗ trợ nhiều loại phần cứng và bảng điều khiển, và có khả năng tùy chỉnh cao, từ các thiết lập cơ bản cho đến các chức năng nâng cao như tự động cân chỉnh bàn in, kiểm soát nhiệt độ chính xác, và nhiều hơn nữa. Phiên bản firmware này được cập nhật và phát triển liên tục bởi cộng đồng, giúp nó luôn theo kịp với những tiến bộ mới nhất trong công nghệ in 3D.

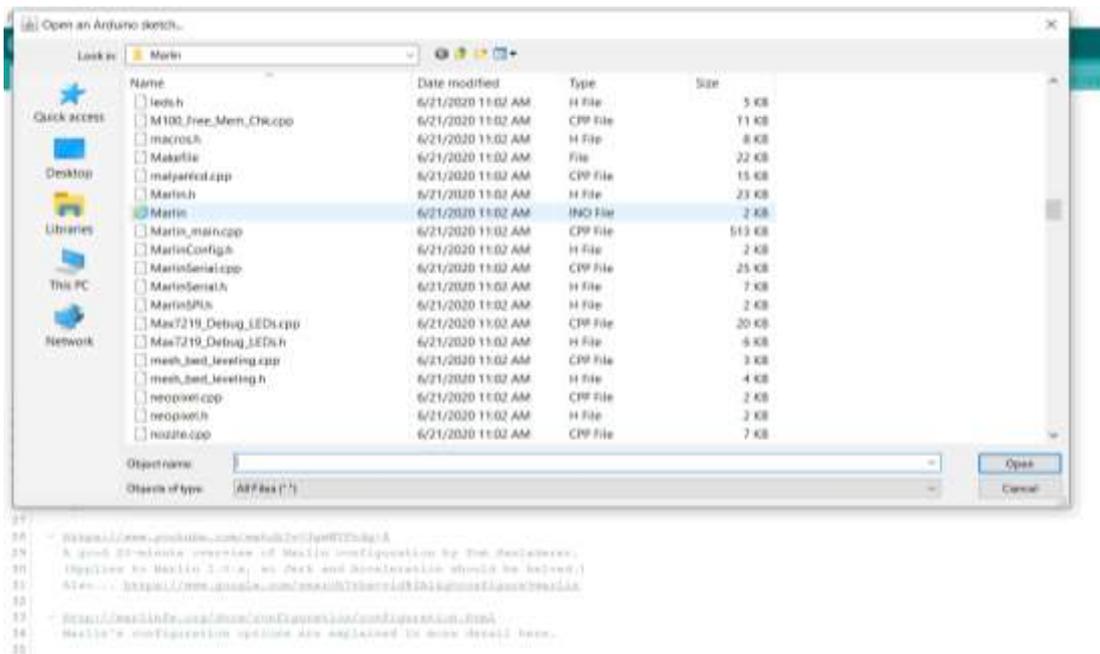
- Sơ đồ thuật toán quá trình thực hiện in:
  - + Khi tiến hành in máy sẽ đọc cảm biến nhiệt độ ở kim phun nhựa, tiếp theo đọc mã Gcode từ thẻ nhớ và gia nhiệt kim phun nhựa. Khi nhiệt độ đạt đến 200°C đầu đùn nhựa về vị trí Home bắt đầu quá trình in. Sau khi hoàn tất quá trình in đầu in trở về Home và kết thúc lần in.

**SƠ ĐỒ THUẬT TOÁN MÁY IN 3D**



Các bước thiết lập chương trình điều khiển của **firmware Marlin**:

Bước 1: khởi động phần mềm **Arduino IDE**. Click chọn open mở file **marlin.ino** như hình 4.7



Hình 4. 9: Bước 1

Bước 2: Chọn tab **configuration.h** để tiến hành lập trình.

Bước 3: Di chuyển đến đoạn code 133 để chọn loại mạch điều khiển như ở đồ án này chúng em sử dụng mạch board ram 1.4 nên sẽ chọn như dưới hình 4.9.

```
Main | Boards.h | Conditionals_LCD.h | Conditionals_post.h | Configuration.h | Configuration_adv.h | G26_Verify_Build_Test
113 *
113 * {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}
114 **
115 #define SERIAL_PORT 0
116
117 /**
118 * This setting determines the communication speed of the printer.
119 *
120 * 250000 works in most cases, but you might try a lower speed if
121 * you commonly experience dropouts during host printing.
122 * You may try up to 1000000 to speed up 3D file transfer.
123 *
124 * {(2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, 920000)}
125 **
126 #define BAUDRATE 250000
127
128 // Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
129 // #define BLUETOOTH
130
131 // The following define selects which electronics board you have.
132 // Please choose the name from boards.h that matches your setup
133 #ifndef MOTHERBOARD
134 #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
135 #endif
136
137 // Optional custom name for your RepRap or other custom machine.
138 // Displayed in the LCD "Ready" message
```

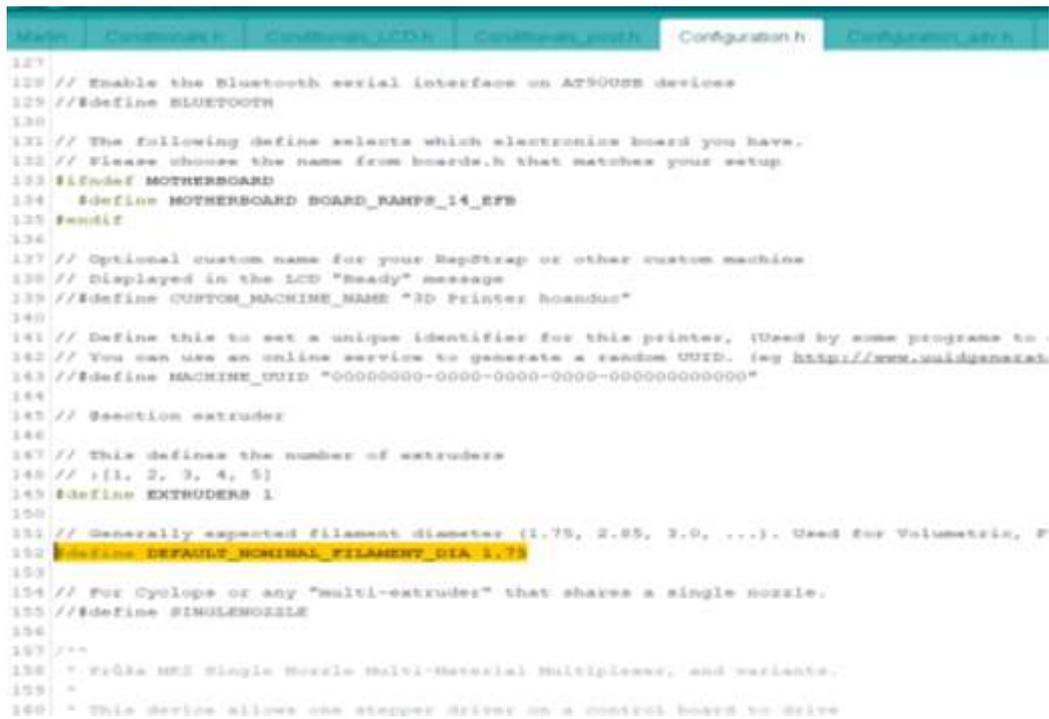
Hình 4. 10: Bước 3

Bước 4: trên đoạn code 149 chúng ta lựa chọn số đầu in mà chúng ta thiết lập (ở đây là 1)

```
Main | Boards.h | Conditionals_LCD.h | Conditionals_post.h | Configuration.h | Configuration_adv.h | G26_Verify_Build_Test
127
128 // Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
129 // #define BLUETOOTH
130
131 // The following define selects which electronics board you have.
132 // Please choose the name from boards.h that matches your setup
133 #ifndef MOTHERBOARD
134 #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
135 #endif
136
137 // Optional custom name for your RepRap or other custom machine.
138 // Displayed in the LCD "Ready" message
139 // #define CUSTOM_MACHINE_NAME "3D Printer Boardao"
140
141 // Define this to set a unique identifier for this printer, (Used by some programs to differentiate)
142 // You can use an online service to generate a random UUID. (eg http://www.uuidgenerator.net/)
143 // #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"
144
145 // Section extruder
146
147 // This defines the number of extruders
148 // {1, 2, 3, 4, 5}
149 #define EXTRUDERS 1
150
151 // Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Used for Volumetric, Filament
152 #define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
153
154 // For Cyclops or any "multi-extruder" that shares a single nozzle.
155 // #define SINGLENOZZLE
156
157 /**
158 * Enable MK2 Single Nozzle Multi-Material Multipass, and variants.
159 **
```

Hình 4. 11: Bước 4

Bước 5: Chúng em sử dụng nhựa PLA loại sợi 1.75mm được thiết lập ở câu lệnh 152.



```
127
128 // Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
129 // #define BLUETOOTH
130
131 // The following define selects which electronics board you have.
132 // Please choose the name from boards.h that matches your setup
133 #ifndef MOTHERBOARD
134   #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
135 #endif
136
137 // Optional custom name for your RepStrap or other custom machine
138 // Displayed in the LCD "Ready" message
139 // #define CUSTOM_MACHINE_NAME "3D Printer boarduc"
140
141 // Define this to set a unique identifier for this printer. (Used by some programs to
142 // You can use an online service to generate a random UUID. (see http://www.uuidgenerator.net)
143 // #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"
144
145 // @section extruder
146
147 // This defines the number of extruders
148 // :{1, 2, 3, 4, 5}
149 #define EXTRUDERS 1
150
151 // Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Used for Volumetric, F
152 #define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
153
154 // For Cyclope or any "multi-extruder" that shares a single nozzle.
155 // #define SINGLENOZZLE
156
157 /**
158  * Průša MK2 Single Nozzle Multi-Material Multiplexer, and variants.
159  *
160  * This device allows one stepper driver on a control board to drive
```

Hình 4. 12: Bước 5

Bước 6: Lựa chọn cơ cấu chấp hành chính Core XY ở dòng lệnh 494

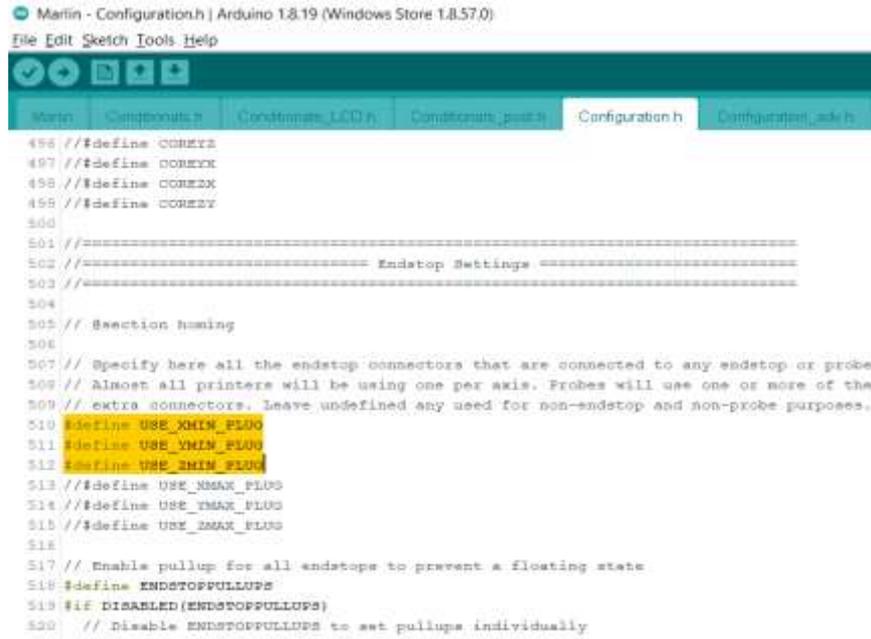


```
478 *
479 * If you get "Thermal Runaway" or "Heating failed" errors the
480 * details can be tuned in Configuration_adv.h
481 */
482
483 #define THERMAL_PROTECTION_HOTENDS // Enable thermal protection for all extruders
484 #define THERMAL_PROTECTION_BED // Enable thermal protection for the heated bed
485
486 //=====
487 //===== Mechanical Settings =====
488 //=====
489
490 // @section machine
491
492 // Uncomment one of these options to enable CoreXY, CoreXZ, or CoreYZ kinematics
493 // either in the usual order or reversed
494 #define COREXY
495 // #define COREXZ
496 // #define COREYZ
497 // #define COREYX
498 // #define COREZX
499 // #define COREZY
500
501 //=====
502 //===== Endstop Settings =====
503 //=====
504
505 // @section homing
506
```

Hình 4. 13: Bước 6

Bước 7: Thiết lập công tắc hành trình

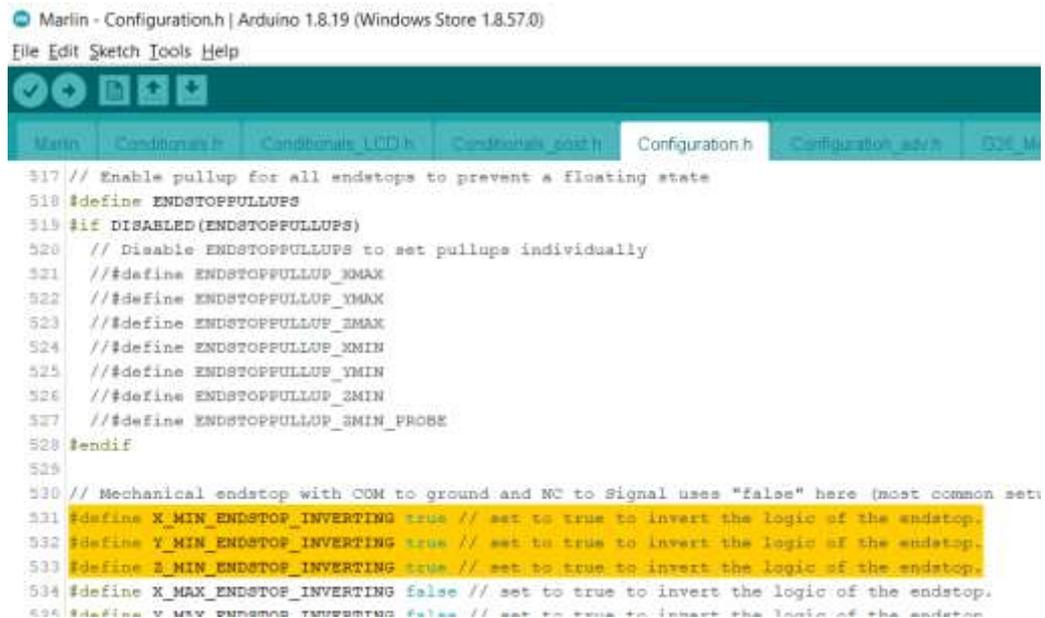
Bước 7.1: Mở 3 công tắc hành trình ở vị trí MIN 3 trục XYZ như hình 4.13



```
496 // #define CORE2
497 // #define CORE3
498 // #define CORE4
499 // #define CORE5
500
501 // =====
502 // ===== Endstop Settings =====
503 // =====
504
505 // #section homing
506
507 // Specify here all the endstop connectors that are connected to any endstop or probe
508 // Almost all printers will be using one per axis. Probes will use one or more of the
509 // extra connectors. Leave undefined any need for non-endstop and non-probe purposes.
510 #define USE_XMIN_PLUG
511 #define USE_YMIN_PLUG
512 #define USE_ZMIN_PLUG
513 // #define USE_ZMAX_PLUG
514 // #define USE_YMAX_PLUG
515 // #define USE_XMAX_PLUG
516
517 // Enable pullup for all endstops to prevent a floating state
518 #define ENDSTOPPULLUPS
519 #if DISABLED(ENDSTOPPULLUPS)
520 // Disable ENDSTOPPULLUPS to set pullups individually
```

Hình 4. 14: Bước 7.1

Bước 7.2: Thiết lập trạng thái của công tắc hành trình vì bọn em xài công tắc hành trình loại không có modul nên ở đây chọn **true**



```
517 // Enable pullup for all endstops to prevent a floating state
518 #define ENDSTOPPULLUPS
519 #if DISABLED(ENDSTOPPULLUPS)
520 // Disable ENDSTOPPULLUPS to set pullups individually
521 // #define ENDSTOPPULLUP_XMAX
522 // #define ENDSTOPPULLUP_YMAX
523 // #define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
524 // #define ENDSTOPPULLUP_XMIN
525 // #define ENDSTOPPULLUP_YMIN
526 // #define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
527 // #define ENDSTOPPULLUP_ZMIN_PROBE
528 #endif
529
530 // Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common set)
531 #define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
532 #define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
533 #define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
534 #define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
535 #define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
```

Hình 4. 15: Bước 7.2

Bước 8: Thiết lập driver điều khiển động cơ bước ở đây driver được chọn là **A4988**

```
538 |
539 /**
540 * Stepper Drivers
541 *
542 * These settings allow Marlin to tune stepper driver timing and enable advanced
543 * stepper drivers that support them. You may also override timing options in
544 *
545 * A4988 is assumed for unspecified drivers.
546 *
547 * Options: A4988, DRV8835, LV8729, L6470, TB6560, TB6600, TMC2100,
548 *          TMC2130, TMC2130_STANDALONE, TMC2208, TMC2208_STANDALONE,
549 *          TMC26X, TMC26X_STANDALONE, TMC2660, TMC2660_STANDALONE,
550 *          TMC5130, TMC5130_STANDALONE
551 * :{'A4988', 'DRV8835', 'LV8729', 'L6470', 'TB6560', 'TB6600', 'TMC2100', 'TM
552 */
553 #define X_DRIVER_TYPE  A4988
554 #define Y_DRIVER_TYPE  A4988
555 #define Z_DRIVER_TYPE  A4988
556 #define X2_DRIVER_TYPE A4988
557 #define Y2_DRIVER_TYPE A4988
558 #define Z2_DRIVER_TYPE A4988
559 #define E0_DRIVER_TYPE A4988
560 #define E1_DRIVER_TYPE A4988
561 #define E2_DRIVER_TYPE A4988
562 #define E3_DRIVER_TYPE A4988
563 #define E4_DRIVER_TYPE A4988
...
```

Hình 4. 16: Bước 8

Bước 9.1: Cài đặt bước cho động cơ.



```
595 *
596 * Note that if EEPROM is enabled, saved values will override these.
597 */
598
599 /**
600 * With this option each E stepper can have its own factors for the
601 * following movement settings. If fewer factors are given than the
602 * total number of extruders, the last value applies to the rest.
603 */
604 #define DISTINCT_E_FACTORS
605
606 /**
607 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
608 * Override with #define
609 *                                     X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
610 */
611 #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, E0, 400, 85 }
612
613 /**
614 * Default Max Feed Rate (mm/s)
615 * Override with #define
616 *                                     X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
```

Hình 4. 17: Bước 9.1

Trên hình chúng ta có 4 thông số cần phải thiết lập  $\{DC_x, DC_y, DC_z, DC_{\text{đầu tời}}\}$

\* $DC_x$  và  $DC_y$  được điều khiển bởi truyền động đai răng nên chúng ta có công thức tính như sau:

$$LT = \left( \frac{360/(A.B)}{C.D} \right)$$

Với:

+ A là góc quay của mỗi bước của động cơ (ở đây sử dụng động cơ bước nema 17 nên chúng ta có bước  $1,8^\circ$ )

+ B là chế độ điều khiển của modul điều khiển (ở đây sử dụng driver A4988 nên  $B=1/16$ )

+ C là tỉ số truyền của hệ thống truyền động, tính từ trục của động cơ tới cơ cấu di chuyển (đối với đai răng GT2 thì  $C=2\text{mm}$ )

+ D là số răng của pully dẫn động  $GT2=20$

Vậy từ công thức trên ta tính ra  $DC_x = DC_y = 80$

\* $DC_z$  được điều khiển bởi trục vít me và đai ốc thường thì ta có:

$$LT = \frac{360/(A.B)}{F}$$

Với F là bước của vít me  $F= 8 \text{ mm}$

Ta tính được  $DC_z = 400$

\*  $DC_{\text{đầu tời}}$  ta có công thức sau:

$$LT = \frac{360/(A.B)}{\pi.G}$$

Với là đường kính pully của đầu tời nhựa  $G = 10,5 \text{ mm}$

Ta tính được  $DC_{\text{đầu tời}} = 97$

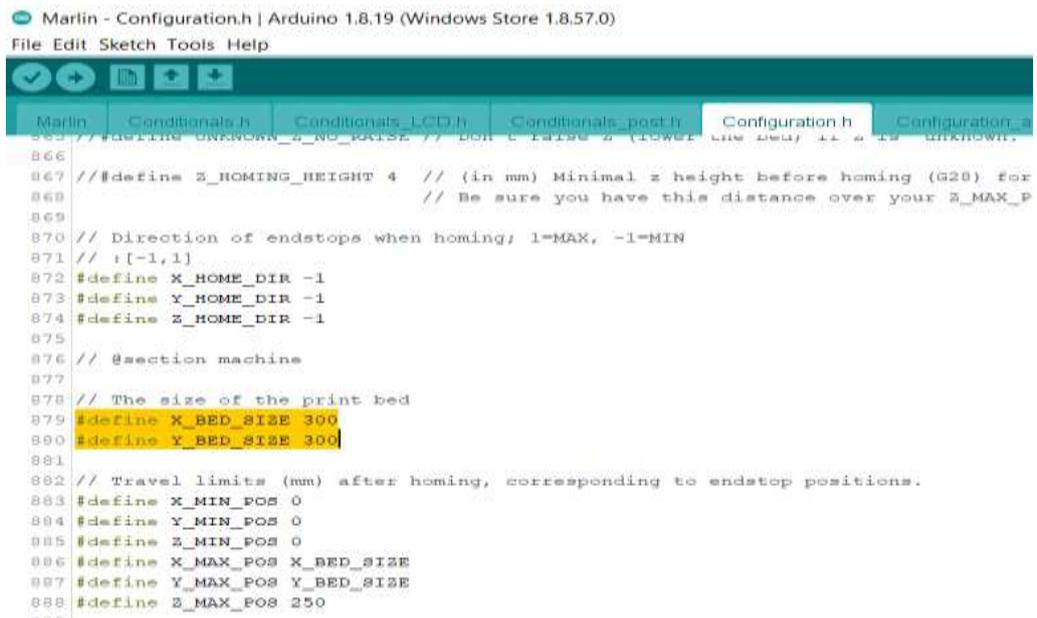
Bước 9.2: Cài đặt chiều quay của động cơ ở câu lệnh 848-850



```
841
842 #define DISABLE_E false // For all extruders
843 #define DISABLE_INACTIVE_EXTRUDER true // Keep only the active extruder enabled.
844
845 // @section machine
846
847 // Invert the stepper direction. Change (or reverse the motor connector) if an axis goes the wrong way.
848 #define INVERT_X_DIR true
849 #define INVERT_Y_DIR true
850 #define INVERT_Z_DIR false
851
852 // @section extruder
853
854 // For direct drive extruder v8 set to true, for geared extruder set to false.
855 #define INVERT_E0_DIR false
856 #define INVERT_E1_DIR false
857 #define INVERT_E2_DIR false
858 #define INVERT_E3_DIR false
859 #define INVERT_E4_DIR false
860
861 // @section homing
862
863 // #define NO_MOTION_BEFORE_HOMING // Inhibit movement until all axes have been homed
864
865 // #define UNKNOWN_Z_NO_RAISE // Don't raise Z (lower the bed) if Z is "unknown." For beds that fall when Z is
```

Hình 4. 18: Bước 9.2

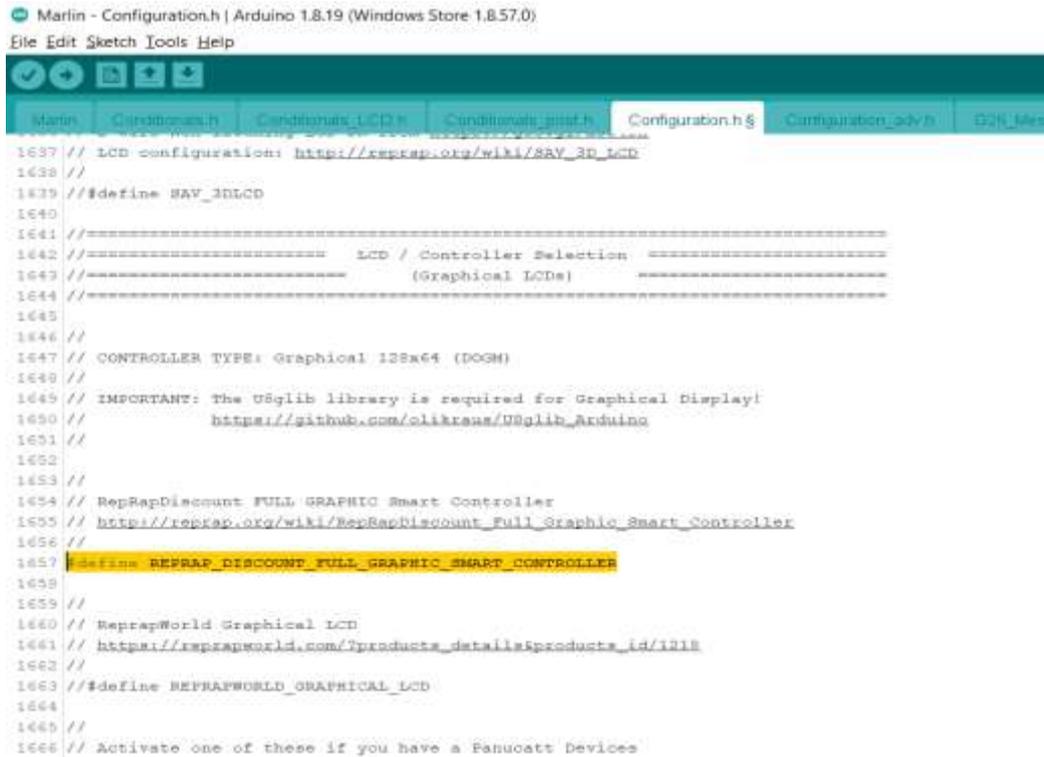
### Bước 10: Cài đặt khoảng bàn in



```
866
867 // #define Z_HOMING_HEIGHT 4 // (in mm) Minimal z height before homing (G28) for
868 // Be sure you have this distance over your Z_MAX_P
869
870 // Direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
871 // :[-1,1]
872 #define X_HOME_DIR -1
873 #define Y_HOME_DIR -1
874 #define Z_HOME_DIR -1
875
876 // @section machine
877
878 // The size of the print bed
879 #define X_BED_SIZE 300
880 #define Y_BED_SIZE 300
881
882 // Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
883 #define X_MIN_POS 0
884 #define Y_MIN_POS 0
885 #define Z_MIN_POS 0
886 #define X_MAX_POS X_BED_SIZE
887 #define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
888 #define Z_MAX_POS 250
889
```

Hình 4. 19: Bước 10

Bước 11: Chọn loại màn hình LCD điều khiển



```
1637 // LCD configuration: http://reprap.org/wiki/RAV\_3D\_LCD
1638 //
1639 //define RAV_3DLCD
1640
1641 //=====
1642 //===== LCD / Controller Selection =====
1643 //===== (Graphical LCDs) =====
1644 //=====
1645
1646 //
1647 // CONTROLLER TYPE: Graphical 128x64 (DOGM)
1648 //
1649 // IMPORTANT: The USglib library is required for Graphical Display!
1650 // https://github.com/olikraus/USglib\_Arduino
1651 //
1652 //
1653 //
1654 // ReprapDiscount FULL GRAPHIC Smart Controller
1655 // http://reprap.org/wiki/ReprapDiscount\_Full\_Graphic\_Smart\_Controller
1656 //
1657 #define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER
1658 //
1659 //
1660 // ReprapWorld Graphical LCD
1661 // http://reprapworld.com/?products\_details&products\_id/1218
1662 //
1663 //define REPRAPWORLD_GRAPHICAL_LCD
1664 //
1665 //
1666 // Activate one of these if you have a Panucatt Devices
```

Hình 4. 20: Bước 11

## CHƯƠNG 5: QUY TRÌNH LẮP RÁP MÁY IN 3D FDM

### 5.1. Giới thiệu chung

Quy trình lắp ráp là bước chuyển giao quan trọng từ thiết kế CAD sang sản phẩm thực tế. Quy trình này bao gồm nhiều cụm cấu trúc, linh kiện cơ khí, điện tử và truyền động. Việc lắp ráp cần thực hiện đúng trình tự, chính xác, vững kỹ thuật nhằm đảm bảo máy in hoạt động ổn định.



Hình 5.1 : Mô hình máy sau khi lắp đặt

### 5.2. Cụm khung máy

Thành phần: Nhôm định hình 3030, ke góc, bu lông M5, chân đế cao su.

Trình tự lắp:

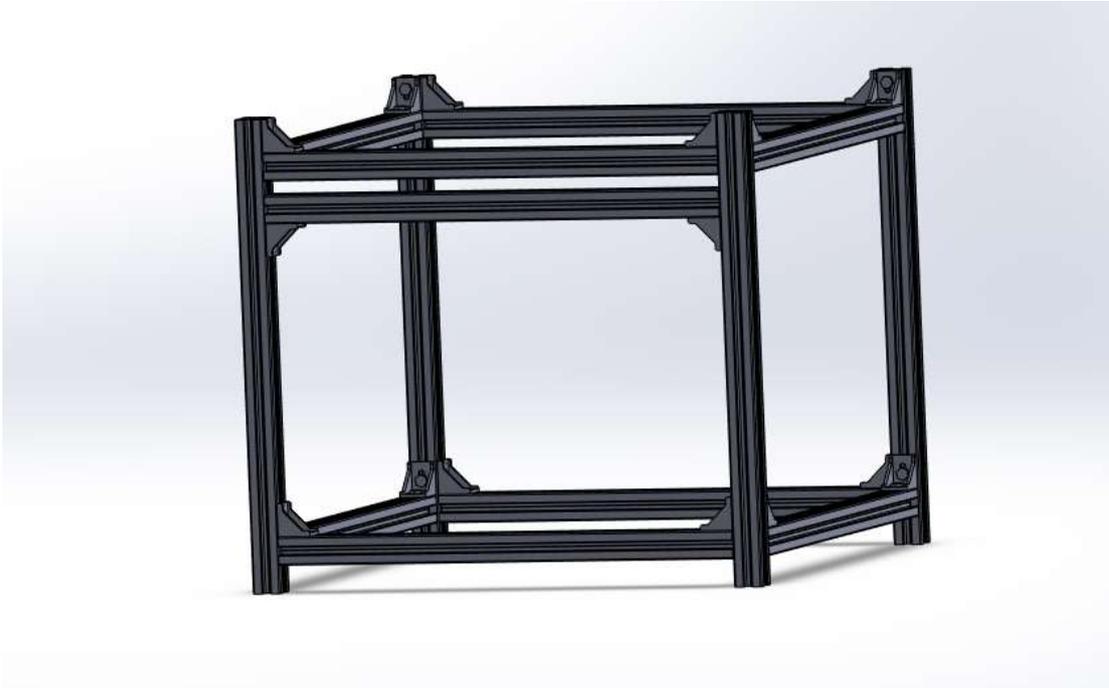
- Cắt nhôm theo kích thước CAD.
- Lắp khung đáy → dựng cột → khung trên.
- Gá ke góc trong/ngoài, siết chặt theo trục đối xứng.

Lỗi thường gặp:

- Khung lệch, vênh do cắt sai hoặc siết 1 phía.
- Không dùng ê-ke nên sai góc vuông.

Khắc phục:

- Dùng thước vuông, gá bằng đèn laze (nếu có).



Hình 5. 2: khung máy

### 5.3. Cụm trục Z (vitme, thanh trượt, bàn in)

Thành phần: Vitme T8, đai ốc, 2 thanh trượt trục 8mm, bàn in nhôm.

Trình tự lắp:

- Gá thanh trượt song song hai bên.
- Lắp vitme vào khớp nối động cơ.
- BẮT đai ốc vào bàn in, gắn bạc trượt.

Lỗi thường gặp:

- Vitme cong, quay lệch do lắp kiểu Fixed-Fixed.
- Thanh trượt và vitme không song song.

Khắc phục:

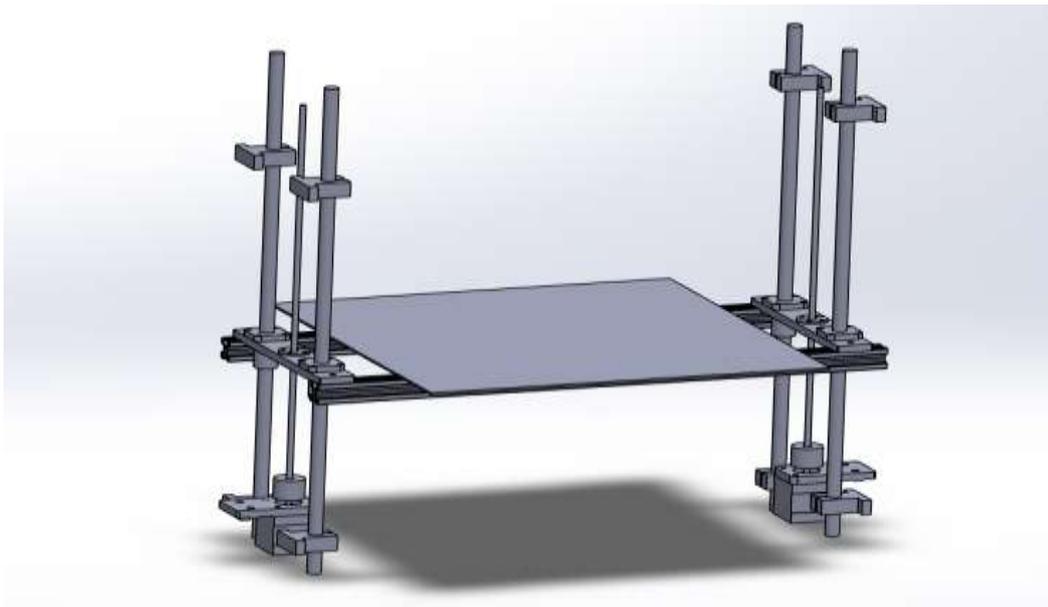
- Dùng thước kiểm tra song song, lắp kiểu Fixed-Free.



Hình 5. 3 Cụm đỡ bàn in



Hình 5. 4: Cụm vítme-ô đỡ



Hình 5. 5: cụm trục z

#### 5.4. Cụm chuyển động CoreXY (X, Y, đai, đầu in)

Thành phần: 2 đai GT2, 2 motor, 4 puly quay, carriage đầu in.

Trình tự lắp:

- Gá motor X, Y và puly.
- Luồn đai theo sơ đồ CoreXY.

- Lắp carriage và đầu in.
- Căng đai, cố định bằng đinh nhựa hoặc in 3D.

Lỗi thường gặp:

- Luồn sai sơ đồ đai → CoreXY sai hành vi.
- Đai chùng, lệch rãnh pully.
- Motor quay ngược → trục X, Y nhảy loạn.

Khắc phục:

- Kiểm tra với tay trước khi cắm điện, đổi dây A-B để đảo chiều motor.

### 5.5. Cùm đùn nhựa (Extruder)

Thành phần: Extruder motor, ống PTFE (nếu Bowden), trục và bánh răng đẩy.

Trình tự lắp:

- Gá motor extruder vào khung.
- Gắn trục, bánh răng, ống dẫn nhựa.

Lỗi thường gặp:

- Ống cong, nghẹt → tắc nhựa.
- Đùn sai chiều, motor quay lồi.

Khắc phục:

- Cắt ống thẳng, đổi dây motor để đảo chiều.



Hình 5. 6

Bộ tời nhựa

## 5.6. Cụm đầu in (Hotend)

Thành phần: Heater block, thermistor, quạt, nozzle.

Trình tự lắp:

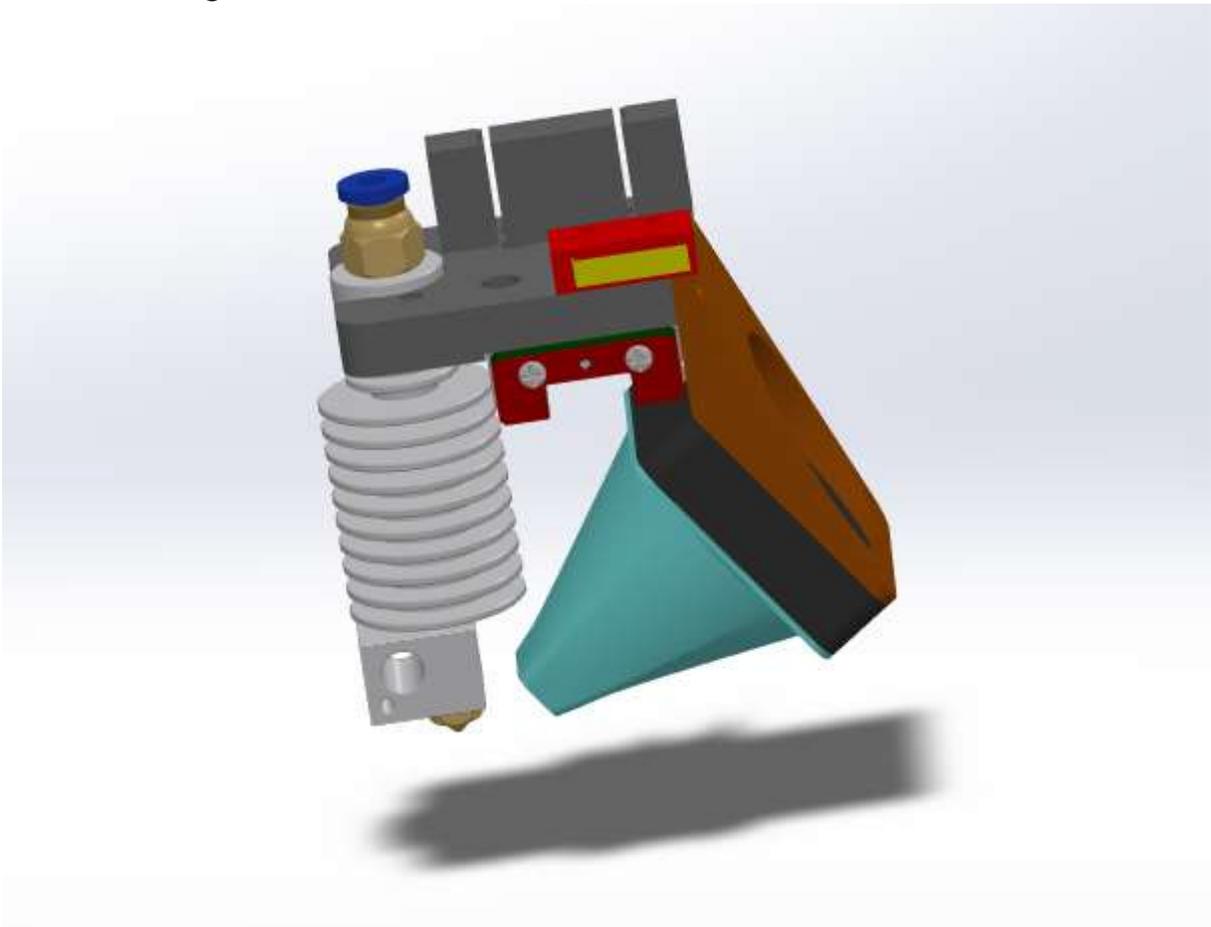
- Lắp thermistor, gia nhiệt và quạt theo sơ đồ.
- Bôi keo tản nhiệt.
- Lắp vào carriage hoặc giá đỡ.

Lỗi thường gặp:

- Sensor gắn lỏng → đo sai nhiệt.
- Quạt không quay → tắc nhựa.

Khắc phục:

- Test PID bằng M303, chỉnh PID theo thực tế.



Hình 5. 7: Cụm đầu phun

### 5.7. Cụm điều khiển – điện – LCD

Thành phần: Arduino Mega, RAMPS 1.4, driver, LCD12864, nguồn 12/24V.

Trình tự lắp:

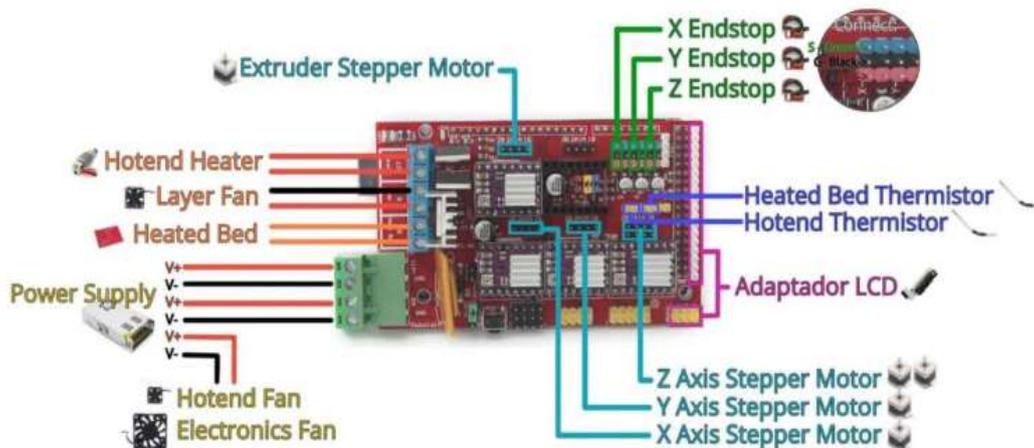
- Gắn driver, cắm motor, endstop, sensor nhiệt.
- Gắn LCD, nguồn, cài firmware Marlin.

Lỗi thường gặp:

- Cài sai firmware → không khởi động.
- Đấu nhầm dây endstop, motor.
- Nguồn quá yếu, RAMPS nóng.

Khắc phục:

- Dùng driver mới, test LCD trước khi gắn nguồn.



Hình 5. 8: Board Arduino mega 2560



Hình 5. 9 : Màn hình LCD 12864

### 5.8. . Kiểm tra hoạt động ban đầu

Trình tự:

- Cài firmware Marlin.
- Test auto home trực.
- Kiểm tra PID, bước/mm, chiều motor.
- In thử test Benchy, cube 20mm.

Lỗi thường gặp:

- Home sai trục, gãy đầu in.
- Nhiệt sai, PID rung.
- Mất bước do driver yếu.

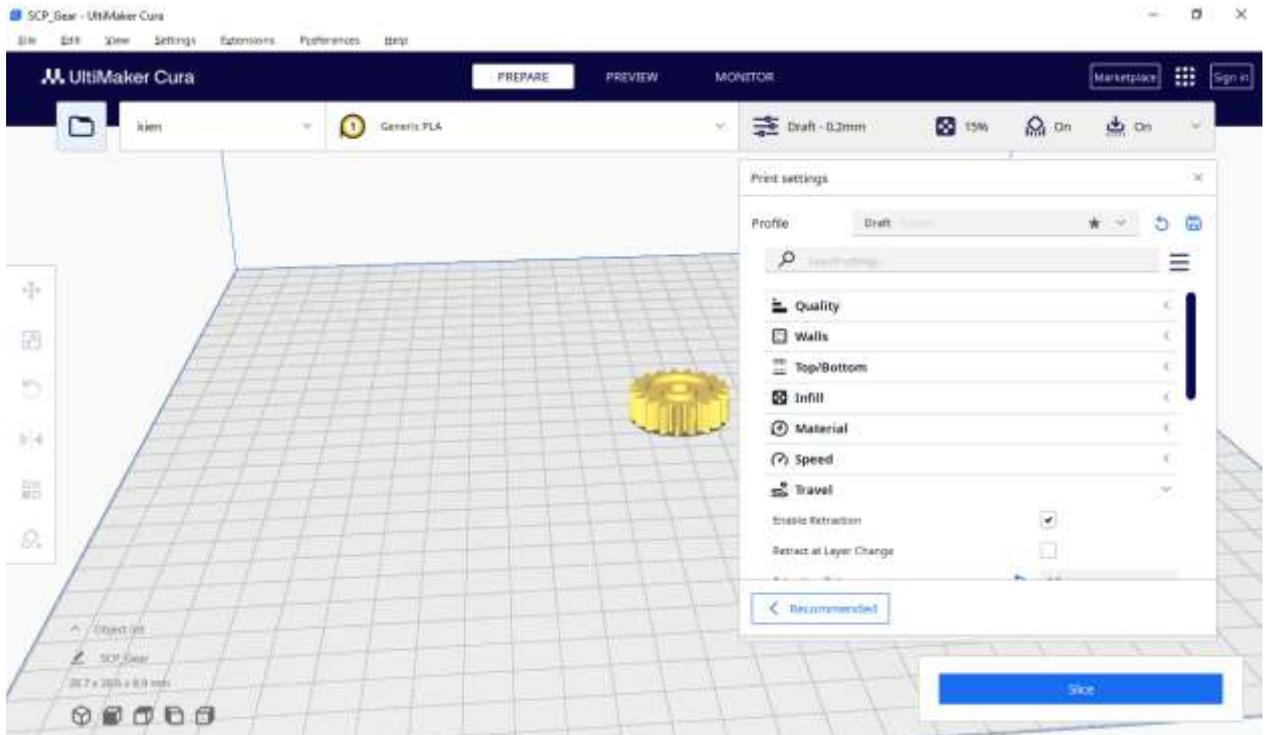
Khắc phục:

- Đọc log từ Pronterface, kiểm tra lại driver và dây nguồn.

## Chương 6: HƯỚNG DẪN SỬ DỤNG MÁY

### 6.1 Cách thức sử dụng:

Bước 1: Khởi động phần mềm **Ultimaker cura** để tạo bản in



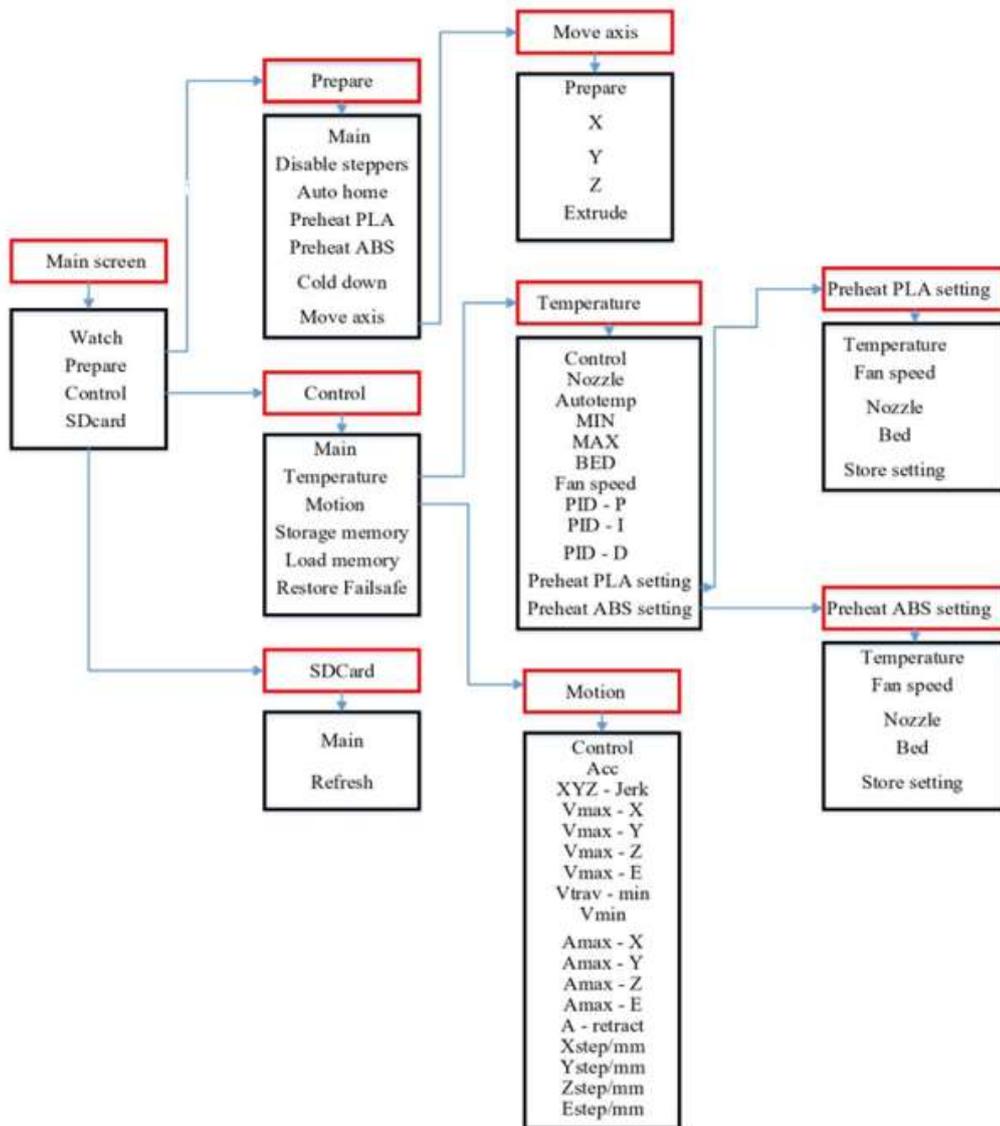
Hình 6. 1: Phần mềm Ultimaker Cura

Bước 2: Xuất G – code qua thẻ SD để thực hiện in

Bước 3: Khởi động máy in 3D

Bước 4: Cân bằng bàn máy bằng cách di trượt đầu in xung quanh bàn sao cho đồng đều mũi in cách mặt bàn 2mm

Bước 5: Chọn model **Print from SD cad** để chọn file in đã lưu vào và để máy chạy tự động.



Hình 6.2 : Sơ đồ cây thư mục thao tác trên màn LCD

### 6.2 Bảo trì và bảo dưỡng máy.

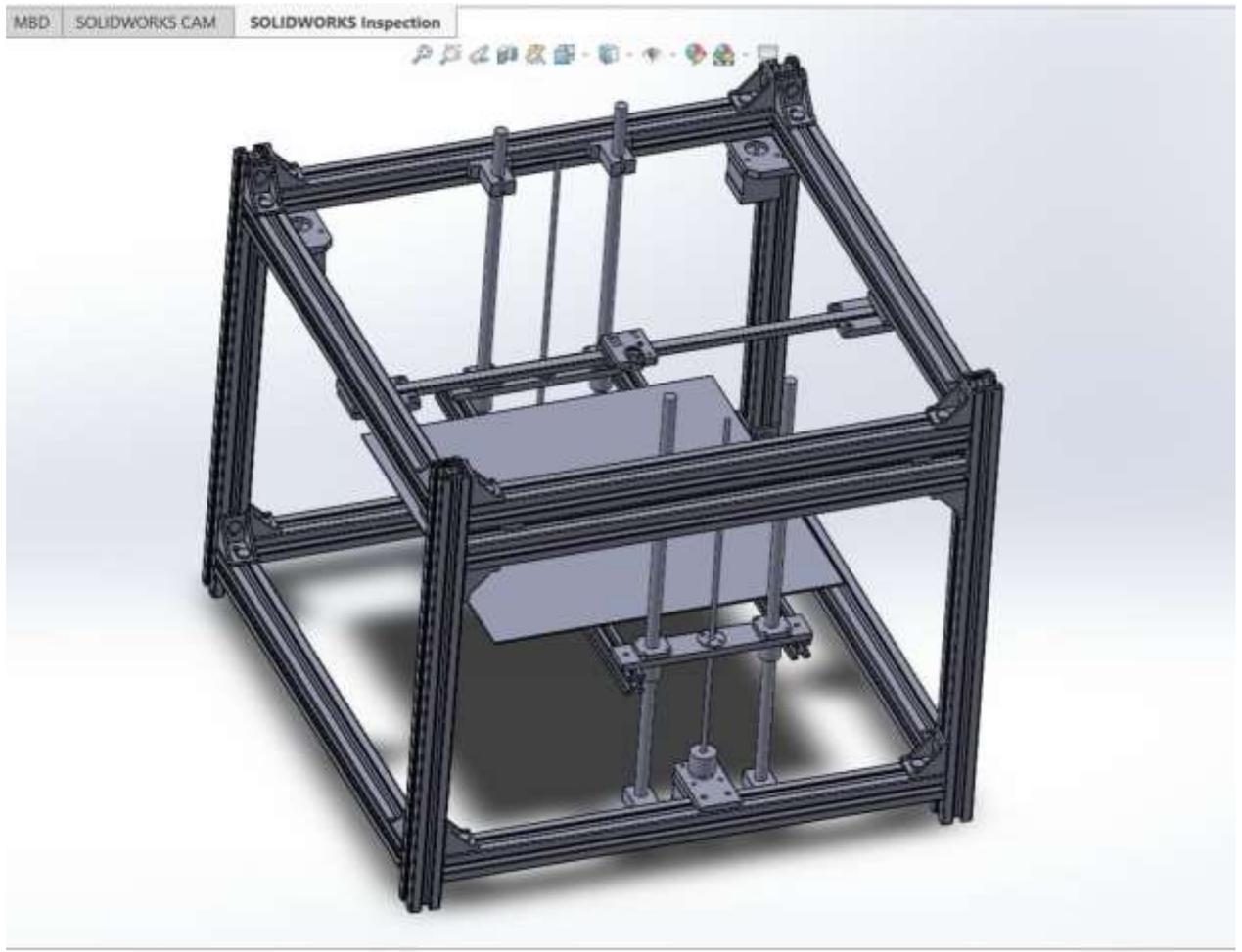
- Thương xuyên lau chùi phần ty trượt dẫn hướng cho đầu in để không bị bám bụi và bôi thêm dầu nhớt đảm bảo cho con trượt di chuyển dễ dàng
- Sau mỗi lần in cần lấy phần nhựa thừa từ đầu in không để bám dính quá nhiều
- Bàn máy là bàn nhôm nên phải sử dụng hồ khô để bám dính vật in
- Sau khoảng 400-500 giờ hoạt động nên căng lại dây đai để tránh bị rơ khiến chất lượng in không tốt.

## KẾT LUẬN VÀ ĐÁNH GIÁ

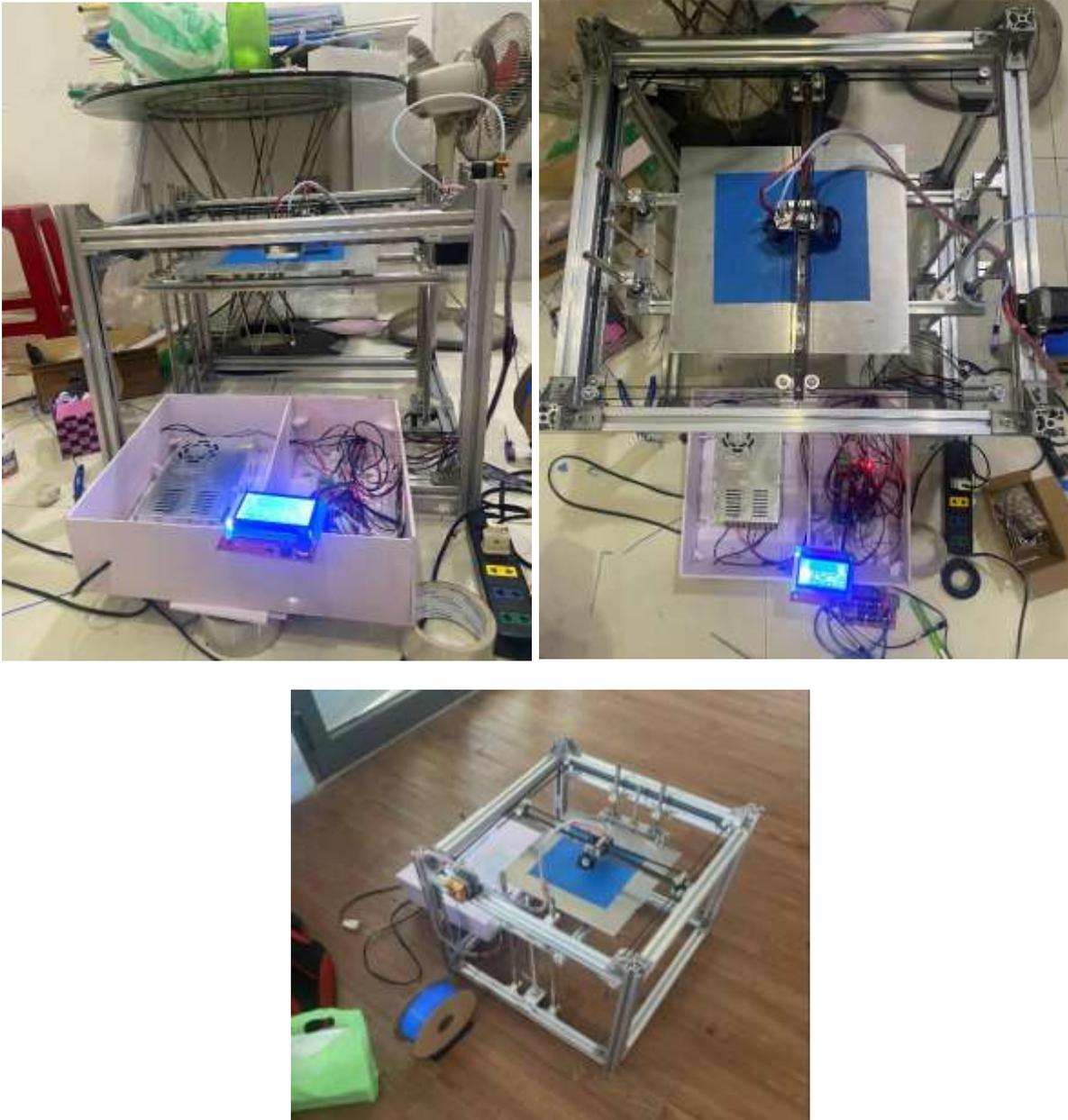
Sau khi nghiên cứu, tính toán và thiết kế, nhóm đã chế tạo thành công mô hình máy in 3D, với sai số sản phẩm, chi tiết gia công được dao động từ 0,2 đến 0,3mm. Vật liệu được sử dụng trong quá trình in là nhựa ABS và PLA.

Thông số	Giá trị
Kích thước máy	500x500x500 mm
Không gian làm việc	300x300x300
Không gian làm việc tối ưu	230x230x230
Tốc độ in tối đa	150mm/s
Tốc độ in tối ưu	60-100 mm/s
Nguồn điện	220 V

*Bảng 5.1: Thông số kỹ thuật của máy*



Hình 6. 3: Mô hình mô phỏng trên solidwork



Hình 6.4: Mô hình thực tế

Nhược điểm:

Hiện tại máy còn 1 số nhược điểm như:

- + Độ ổn định của hệ thống chưa tốt
- + Dung sai của sản phẩm chưa ổn định, đối với chiều dày một lớp in càng nhỏ thì dung sai càng thấp.

## TỔNG KẾT VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

### Tổng kết

Sau quá trình nghiên cứu và thực hiện đề tài “**Thiết kế mô hình máy in 3D**”, nhóm đã thu được nhiều kết quả. Đề tài không phải là lần đầu tiên được tìm hiểu và nghiên cứu tại Việt Nam nhưng cũng có những kết quả nổi bật như:

- Đã tìm hiểu được một công nghệ mới rất có ích cho cuộc sống hiện nay.
- Đã giới thiệu được phần mềm cần thiết cho việc lập trình tạo hình.
- Hiểu thêm được các bộ phận và chi tiết cần thiết để tạo ra một máy in 3D hoàn chỉnh.
- Chế tạo thành công máy in 3D in được một số sản phẩm.
- Tạo ra được những sản phẩm có ích cho cuộc sống và ứng dụng khá cao trong thời đại công nghệ mới.

### Hướng phát triển

- Cải tiến máy in 3D để in được những sản phẩm có độ phức tạp cao.
- Chế tạo một máy in có kích thước lớn hơn, để in được những sản phẩm có kích thước lớn ứng dụng trong cuộc sống.
- Ứng dụng Internet of Things (IoT)
- Giao diện người dùng hiện đại:
- Nâng cấp giao diện người dùng và trải nghiệm sử dụng

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Trịnh Chất – Lê Văn Uyển, Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí tập 1, tập 2, NXB giáo dục Việt Nam, 2010*
2. *PGS. TS. Đặng Thiện Ngôn, Giáo trình trang bị - điện điện tử trong máy công nghiệp, NXB đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2013.*
3. <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=NEMA17>
4. <https://www.diyeverything.xyz/2020/06/dong-co-buoc-va-cach-tinh-buoc-stepper-motor-nema.html>
5. <http://arduino.vn/>
6. <http://www.thingiverse.com/>
7. [www.3dmaker.vn](http://www.3dmaker.vn)
8. [http://vi.wikipedia.org/wiki/Bộ\\_điều\\_khiển\\_PID/](http://vi.wikipedia.org/wiki/Bộ_điều_khiển_PID/)