

THIẾT KẾ MÁY IN 3D-DLP THEO NGUYÊN LÝ TOP-DOWN ĐỂ TẠO MẪU PHỤC VỤ CHO QUÁ TRÌNH ĐÚC MẪU CHẢY

DESIGNING A 3D PRINTER USING DLP TECHNOLOGY FOR PROTOTYPING TO SUPPORT THE INVESTMENT CASTING PROCESS

Phan Thành Duy², Bùi Trọng Hiếu¹, Huỳnh Hữu Nghị^{1,*}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

²Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Tôn Đức Thắng, TP. Hồ Chí Minh

*Email: hhnghi@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Công nghệ in 3D đang ngày càng trở thành công cụ quan trọng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Trong đó, công nghệ in 3D sử dụng vật liệu nhựa lỏng với những ưu điểm như độ chính xác cao, chất lượng bề mặt tốt đang nhận được nhiều sự quan tâm đặc biệt là trong lĩnh vực chế tạo mẫu phục vụ trong ngành đúc mẫu chảy. Nghiên cứu và phát triển máy in 3D theo công nghệ DLP có khả năng tạo những mẫu có kích thước lớn không chỉ mở ra cơ hội mới cho các ngành công nghiệp đúc giúp tiết kiệm thời gian và chi phí sản xuất. Bài báo trình bày quá trình tính toán thiết kế máy in 3D-DLP để chế tạo mẫu có kích thước lớn (300x300x300 mm) sử dụng vật liệu nhựa sáp phục vụ quá trình đúc mẫu chảy phục vụ nhu cầu cho các doanh nghiệp trong nước.

Từ khóa: In 3D; DLP; Thiết kế; Đúc mẫu chảy; Mẫu nhựa-sáp.

ABSTRACT

3D printing technology is increasingly becoming an essential tool across various industries. Among them, 3D printing technology utilizing liquid resin materials, with advantages such as high precision and excellent surface quality, is receiving significant attention, particularly in the field of prototype manufacturing for investment casting. The research and development of DLP (Digital Light Processing) 3D printers capable of creating large-sized models not only opens up new opportunities for the casting industry but also helps save production time and costs. This paper presents the calculation and design process of a 3D-DLP printer for fabricating large-sized models (300x300x300 mm) using resin-wax materials, catering to the investment casting needs of domestic companies.

Keywords: In 3D; DLP; Design; Investment casting; Resin-wax patterns.



1. GIỚI THIỆU

Công nghệ in 3D đang phát triển mạnh với quy mô thị trường đạt 20,37 tỷ USD vào năm 2023 và tốc độ tăng trưởng dự kiến 23,5% CAGR đến năm 2030. Trong đó, in 3D resin chiếm hơn 10% doanh thu năm 2020, nhờ khả năng tạo ra sản phẩm có độ chính xác cao và bề mặt tốt. Trong các công nghệ in 3D sử dụng vật liệu nhựa lỏng, công nghệ DLP (Digital Light Processing) tạo ra các sản phẩm có chất lượng tương đương với năng suất cao [1], [2], [3]. Vì vậy, công nghệ này đang được quan tâm phát triển cả về thiết bị lẫn vật liệu, một trong các loại vật liệu mới là nhựa sáp phục vụ quá trình đúc mẫu chảy. Hiện nay, một hệ thống in 3D-DLP thương mại có giá thành cao và kích thước sản phẩm còn tương đối nhỏ. Do đó, việc nghiên cứu, phát triển máy in 3D-DLP mã nguồn mở với chi phí thấp là một nhu cầu cần thiết. Bài viết đề xuất một phương án thiết kế máy in 3D-DLP sử dụng vật liệu nhựa-sáp để chế tạo mẫu đúc có kích thước lớn giúp các doanh nghiệp trong nước rút ngắn quy trình chế tạo, qua đó giúp tiết kiệm thời gian và chi phí.

Bảng 1. Thông số thiết kế

Thông số	Giá trị
Kích thước sản phẩm	300x300x300 mm
Độ phân giải XY	50 μ m
Độ chính xác trục Z	0,025 - 0,1 mm
Độ phân giải nguồn năng lượng máy chiếu	3840 x 2160 pixel
Bước sóng nguồn năng lượng	405 nm

2. LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ

2.1. Phương án chiếu nguồn UV

Hiện nay, các thiết bị in 3D sử dụng vật

liệu nhựa lỏng theo công nghệ DLP đang được thương mại hóa có hai phương án chiếu tia UV lên bề mặt vật liệu lỏng là: chiếu từ trên xuống (Top-Down) và chiếu từ dưới lên (Bottom-Up) [4], [5], [6], [7]. Trong đó:

- Phương án Top-Down: Ánh sáng UV được chiếu từ trên xuống làm hóa rắn nhựa cảm quang tại bề mặt tiếp xúc, tạo thành từng lớp vật liệu. Sau mỗi lớp, bàn máy hạ xuống một khoảng theo độ dày lớp và tiếp tục hóa rắn vật liệu. Quá trình trên lặp lại cho đến khi hoàn thành sản phẩm.

- Phương án Bottom-Up: Ánh sáng chiếu từ dưới lên qua đáy bể chứa làm cứng lớp vật liệu và bám vào bàn in. Sau mỗi lớp, bàn in nâng lên một khoảng bằng chiều dày lớp để tạo lớp sản phẩm tiếp theo. Quá trình lặp lại cho đến khi hoàn thành sản phẩm.

Xét trên những đặc điểm của từng phương án chiếu với yêu cầu và khả năng thiết kế, nhóm tác giả chọn phương án chiếu từ trên xuống vì phương án này có thể in các vật thể lớn. Sản phẩm khi in nằm trên tấm giá đỡ nên không gặp vấn đề về việc sản phẩm bị rơi, tách ra khỏi tấm giá đỡ đồng thời giảm được cấu trúc đỡ giúp tiết kiệm thời gian và chi phí.

2.2. Kết cấu cụm khung máy

Cụm khung máy bảo vệ, nâng đỡ các bộ phận, giảm rung, đảm bảo độ cứng vững và ổn định. Nó còn là khung lắp vỏ ngoài, che chắn tia UV. Yêu cầu kỹ thuật gồm độ cứng vững, hạn chế dao động, đảm bảo độ vuông góc và song song để lắp ráp dễ dàng [4], [5], [7]. Qua khảo sát, nhóm tác giả đề xuất hai phương án:

- Khung từ vật liệu tấm, lắp ghép bằng hàn hoặc bulong.

- Khung nhôm định hình, lắp ghép bằng bulong và đai ốc qua ke góc.

Phương án kết hợp cả hai được chọn để đảm bảo độ bền cao, chịu lực tốt, chống ăn mòn, trọng lượng nhẹ, dễ lắp ráp và căn chỉnh.

2.3. Các phương án thiết kế cụm nâng hạ

Cụm nâng hạ di chuyển theo trục Z, quyết định độ chính xác từng lớp vật liệu [4], [7]. Nó phải song song bề chứa, vuông góc bàn in và khung máy, với độ chính xác 0,025-0,1 mm để đảm bảo chất lượng và ổn định → Nhóm tác giả chọn phương án truyền-dẫn động là dẫn động bằng vít me bi – đai ốc kết hợp với thanh dẫn hướng thẳng dạng vuông để đáp ứng yêu cầu kỹ thuật.

2.4. Kết cấu cụm giá đỡ và bề chứa

Cụm giá đỡ giữ sản phẩm sau khi lớp vật liệu đông đặc. Thiết kế thường có lỗ đục giúp giảm áp lực, hạn chế lỗi và cải thiện chất lượng bề mặt in [7]. Cụm giá đỡ có các yêu cầu kỹ thuật sau: đảm bảo độ cứng vững, vuông góc với trục Z và song song với bề chứa; Bề mặt bám dính tốt, dễ tháo lắp, vệ sinh và lấy sản phẩm; Trọng lượng nhẹ, bền, kích thước phù hợp với khả năng in.

Phân tích cụm bề chứa vật liệu: bề chứa (VAT) giữ nhựa cảm quang trong quá trình in. Đáy bề có lớp chống dính (Teflon hoặc PDMS) giúp tách lớp in dễ dàng. Yêu cầu thiết kế:

- Kích thước 330 x 330 x 330 mm, lớn hơn bàn in để đảm bảo đủ vật liệu.
- Vuông góc, song song để giảm sai số, dễ lắp đặt.

- Vật liệu chống dính, dễ vệ sinh và thay thế resin.

→ Giải pháp kỹ thuật: Thanh gạt resin được sử dụng để phân bố vật liệu đồng đều, giảm bọt khí, cải thiện chất lượng in.

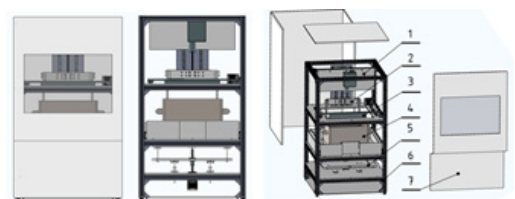
2.5. Phân tích lựa chọn nguồn năng lượng projector

Máy chiếu DLP tạo hình lớp bằng cách chiếu ánh sáng qua thấu kính đến DMD, sau đó vào bề nhựa. Do sự phân tán pixel, chi tiết mép bề có thể bị méo. Số pixel cố định khiến bản in nhỏ chính xác hơn bản in lớn. Máy chiếu cần cường độ sáng ≥ 2500 lumen và độ phân giải $\geq 1080p$ [5], [6], [7]. Nhóm tác giả chọn máy chiếu SM12 – Pro do đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Thông số kỹ thuật: Độ phân giải 3840x2160, bước sóng LED UV 405 nm, cường độ 7000 lumens, tuổi thọ >30.000 giờ, kết nối HDMI-USB, kích thước 250x170x100 mm, trọng lượng 2,5 kg.

3. THIẾT KẾ KẾT CẤU CỦA MÁY IN 3D-DLP

3.1. Thiết kế cơ khí

Cấu trúc chung của một hệ thống in 3D-DLP gồm các bộ phận chính được trình bày ở Hình 1 và kết quả tính toán một số cụm quan trọng được trình bày trong Bảng 2.



Hình 1. Mô hình cơ khí máy in 3D-DLP:
1. Máy chiếu; 2. Cụm trục Z; 3. Cụm cân gạt nhựa;
4. Cụm bề chứa; 5. Cụm nâng hạ bề chứa;
6. Khung máy; 7. Vỏ máy

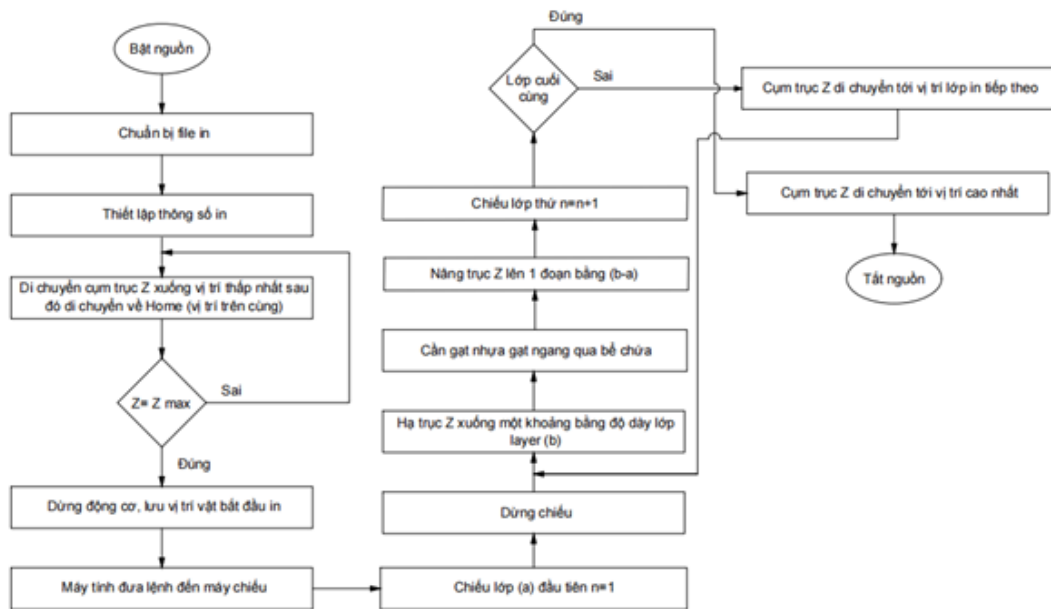


Bảng 2. Một số kết quả tính toán [8], [9], [10], [11]

a. Cụm nâng hạ trực Z	
Trục vít me	
Thông số đầu vào	Kết quả
Kích thước vật in lớn nhất: 300x300x300 mm Độ chính xác tốt nhất đề ra: 0,05 mm Độ dày lớp nhỏ nhất: 0,01 mm Khối lượng riêng của vật liệu nhựa sáp: $d = 1,32 \text{ g/cm}^3$. Lực dọc trục $F_a = 485\text{N}$ Vận tốc tối đa cho phép lớn hơn hoặc bằng 20 mm/s	Đường kính trục vít me: $d = 8 \text{ mm}$ Bước ren: $p = 2 \text{ mm}$ Chiều dài: $L = 350 \text{ mm}$ Đường kính trong ren: $d_1 = 6,6 \text{ mm}$ Vận tốc tối đa: $v = 200 \text{ mm/s}$
Động cơ trục vít me	
Thông số đầu vào	Kết quả
Lực dọc trục $F_a = 485 \text{ N}$ Hiệu suất bộ truyền $\eta = 0,9$ Công suất bộ truyền: $P = 9,7 \times 10^{-3} \text{ kW}$ Moment xoắn trên trục động cơ: $0,159 \text{ Nmm}$ Số vòng quay của động cơ, $n = 600 \text{ vòng/phút}$	Chọn động cơ NEMA 17 cho vít me trục Z [23]
b. Cụm bể chứa	
Trục vít me	
Thông số đầu vào	Kết quả
Thể tích lớn nhất của bể chứa: 35937 cm^3 Khối lượng vật liệu lớn nhất: $47,44 \text{ kg}$ Lực dọc trục $F_a = 940 \text{ N}$	Đường kính trục vít me: $d = 12 \text{ mm}$ Bước ren: $p = 2,5 \text{ mm}$ Chiều dài vận hành: $L = 130 \text{ mm}$ Tải trọng tĩnh cho phép: 12910 N Tải trọng động cho phép: 6485 N
Động cơ nâng hạ bể chứa	
Thông số đầu vào	Kết quả
Lực dọc trục $F_a = 940 \text{ N}$ Hiệu suất bộ truyền $\eta = 0,9$ Vận tốc cho phép: 20 mm/s Công suất bộ truyền: $P = 0,0188 \text{ kW}$ Công suất cần thiết của động cơ: $0,02 \text{ kW}$ Số vòng quay của động cơ: $n = 480 \text{ vòng/phút}$	Chọn động cơ NEMA 17 cho trục vít me nâng hạ bể chứa.
c. Cụm thanh gạt	
Động cơ cho thanh gạt	
Thông số đầu vào	Kết quả
Lực kéo của dây đai: $F = 2,4 \text{ N}$ Công suất bộ truyền: $P = 0,00024 \text{ kW}$ Moment xoắn trên trục động cơ: $P = 0,00086 \text{ Nm}$	Chọn động cơ NEMA 8 cho thanh gạt

3.2. Thiết kế mạch điều khiển

Hệ thống điều khiển sử dụng máy tính nhúng Raspberry Pi để vận hành máy in 3D-DLP sử dụng máy tính hoặc màn hình điều khiển kết nối với Raspberry Pi, xử lý tín hiệu và truyền đến mạch Arduino Mega 2560. Mạch Arduino kết nối với driver DRV8825 để điều khiển động cơ bước. Đồng thời, Raspberry Pi kết nối với máy chiếu qua cổng HDMI, kiểm soát quá trình chiếu sáng khi in nhựa cảm quang [12], [13], [14], [15]. Sơ đồ kết nối chi tiết được trình bày trong Hình 2 và các linh kiện quan trọng trong hệ thống điều khiển được trình bày trong Bảng 3.



Hình 2. Lưu đồ giải thuật của máy in 3D DLP

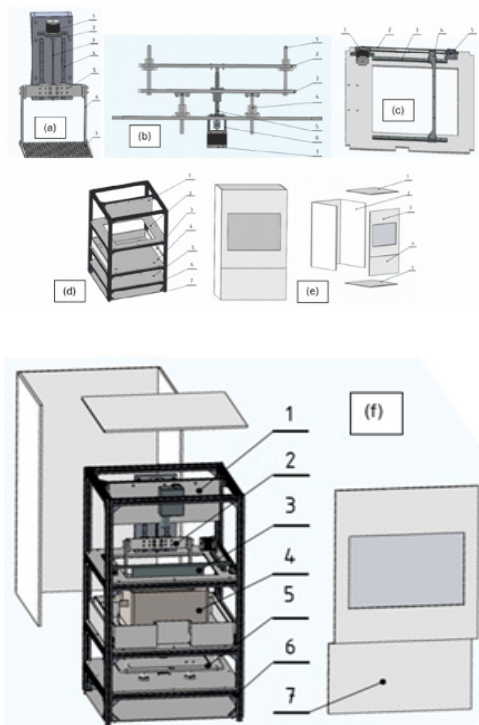
Bảng 3. Các thiết bị linh kiện của hệ thống điều khiển máy in 3D-DLP

Tên thiết bị	Số lượng
Raspberry Pi 3	1
Arduino Mega 2560	1
Mạch mở rộng Ramps 1.4	1
Driver DRV8825	1
Động cơ bước	4
Công tắc hành trình	4
Máy chiếu	2
Nguồn điện	1



4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi tính toán, các cụm chi tiết được thiết kế trên phần mềm Solidworks và lắp ráp với nhau thành một máy in 3D-DLP hoàn chỉnh được trình bày trên Hình 3. Thiết bị có kết cấu cơ khí khá đơn giản được thiết kế theo kết cấu máy công nghiệp với khả năng in được sản phẩm có kích thước lớn. Kết quả thiết kế có tính khả thi cao để chế tạo với chi phí thấp. Sơ đồ nối dây cho mạch điều khiển thiết bị được trình bày trên Hình 4.



Hình 3. Kết quả thiết kế phần cơ khí cho máy in 3D-DLP: (a) cụm nâng hạ trục Z, (b) cụm nâng hạ bể chứa vật liệu, (c) cụm thanh gạt, (d) cụm khung máy, (e) cụm vỏ máy và (f) thiết bị in 3D-DLP sau khi được lắp ráp.

Trong đó, các chi tiết chính trong từng cụm máy như sau:

- Cụm nâng hạ gồm: 1. Động cơ truyền động vít me; 2. Tấm đỡ cụm nâng hạ; 3. Trục

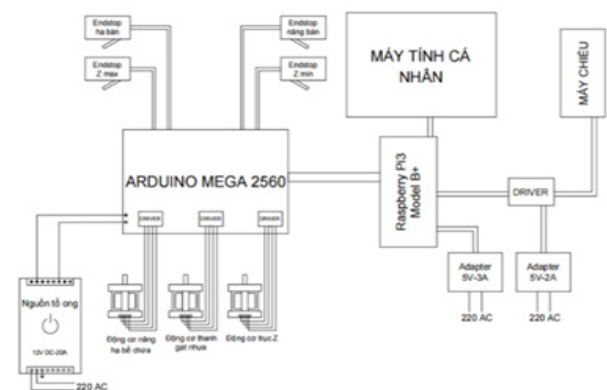
vít me; 4. Dẫn hướng con trượt – thanh trượt vuông; 5. Thanh liên kết với cụm vít me; 6. Thanh liên kết tấm giá đỡ vật in; 7. Tấm giá đỡ vật in.

- Bể chứa gồm: 1. Con trượt – thanh trượt tròn nâng hạ bể chứa vật liệu; 2. Tấm cố định chi tiết; 3. Tấm di chuyển chi tiết; 4. Con trượt – thanh trượt tròn nâng hạ cụm chi tiết; 5. Trục vít me; 6. Giá động cơ; 7. Động cơ bước.

- Cụm gạt nhựa gồm: 1. Động cơ truyền động dây đai; 2. Dây đai kéo cần gạt; 3. Con trượt – Thanh trượt vuông dẫn hướng cần gạt; 4. Cần gạt nhựa; 5. Cơ cấu căng đai.

- Cụm khung máy gồm: 1. Tấm giá máy chiếu; 2. Tấm đỡ cụm trục Z và cụm cần gạt nhựa; 3. Tấm giá ray trượt bi cho cụm bể chứa; 4. Tấm đỡ cụm bể chứa; 5. Tấm đỡ trục vít me nâng hạ bể chứa vật liệu; 6. Khung máy; 7. Chân đế máy.

- Cụm vỏ máy gồm: 1. Tấm trên; 2. Thân vỏ; 3. Cửa chính; 4. Cửa phụ; 5. Tấm đáy.



Hình 4. Sơ đồ nối dây cho mạch điều khiển

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày quá trình thiết kế máy in 3D theo công nghệ DLP để tạo mẫu nhằm phục vụ quá trình đúc mẫu chảy. Quy trình gồm nhiều giai đoạn: từ việc xác định loại nhựa-sáp phù hợp cho việc tạo mẫu đúc, phân

tích lựa chọn nguồn năng lượng phù hợp với vật liệu, thiết kế hệ thống cơ khí sao cho đảm bảo độ cứng vững, hoạt động ổn định và thiết kế mạch điều khiển cho thiết bị. Tất cả đã góp phần tạo nên một kết quả hoàn chỉnh có tính khả thi cao cho việc chế tạo, thử nghiệm và vận hành sau này. Với khả năng tạo mẫu có độ chi tiết, chính xác cao và đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, máy in 3D-DLP có tiềm năng phát triển mạnh mẽ, nhất là ở thị trường Việt Nam trong thời gian tới.

Trong tương lai, nghiên cứu này sẽ tiếp tục hoàn thiện các vấn đề sau: (1) Tiến hành chế tạo thiết bị để kiểm nghiệm độ chính xác sản phẩm, từ đó tối ưu hóa thông số vận hành của thiết bị; (2) Tích hợp camera để có thể giám sát quá trình chế tạo sản phẩm; (3) Nghiên cứu sâu hơn về các loại máy chiếu, phương pháp đồng nhất năng lượng từ nhiều máy chiếu để cải tiến hiệu suất chiếu sáng cho quá trình đóng rắn nhựa đạt hiệu quả tốt nhất; (4) Nghiên cứu cải tiến phương án thiết kế cho cụm cần gạt nhựa nhằm đạt hiệu quả tốt nhất. ❖

Ngày nhận bài: 14/02/2025

Ngày phản biện: 06/3/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phân tích thị phần và quy mô thị trường in 3D - Dự báo và xu hướng tăng trưởng (2024 - 2029). Truy cập từ: <https://www.mordorintelligence.com/vi/industry-reports/3d-printing-market>.
- [2]. Hull CW, "Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography". US4575330A, 1986.
- [3]. Haoyuan Quan, Ting Zhang, Hang Xu, Shen Luo, Jun Nie, Xiaoqun Zhu, "Photo-curing 3D printing technique and its challenges". College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing, 100029, PR China.
- [4]. John MO, "Photo-glyph recording". US2775758A, 1956.
- [5]. Scott Frey (March 23, 2017), Laser SLA vs DLP vs Masked SLA 3D Printing Technology. Truy cập từ: <https://theorthocosmos.com/laser-sla-vs-dlp-vs-masked-sla-3d-printing-technology-compared/>
- [6]. M. Pagac, J. Hajnys, Q.-P. Ma, L. Jancar, J. Jansa, P. Stefek, et al., "A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials, Applications, Challenges, and Future Trends of 3D Printing". Polymers, 2021, 13(4).
- [7]. J. Valentinčič, M. Peroša, M. Jerman, I. Sabotin, and A. Lebar, "LowCost Printer for DLP Stereolithography". Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia & Faculty of Health Sciences, University of Ljubljana, Slovenia.
- [8]. PGS, TS. Trịnh Chất, TS. Lê Văn Uyển, "Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí - Tập I". NXB. Giáo dục.
- [9]. Lê Văn Uyển, Vũ Lê Huy, "Phương pháp tính toán thiết kế và lựa chọn truyền động vitme-bi". Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ VIII, Hà Nội, 12/2007.
- [10]. Caged Ball LM Guide Actuator Model SKR, THK General Catalog.
- [11]. Thanh vitme bi và đai ốc bi TBI dòng SFA. Truy cập từ: <https://vattucokhicnc.com/thanh-vitme-bi-va-dai-oc-bi-tbi-dong-sfa.htm>
- [12]. DIY Everything, Động cơ bước và cách tính bước cho trục vitme và dây đai máy in 3D, CNC, cắt Laser - Stepper Motor NEMA. Truy cập từ: <https://www.diyeverything.xyz/2020/06/dong-co-buoc-va-cach-tinh-buoc-stepper-motor-nema.html>
- [13]. Cao Minh Gia Huy (18/11/2015), Giới thiệu Arduino Mega 2560. Truy cập từ: <http://arduino.vn/bai-viet/542-gioi-thieu-arduino-mega2560>
- [14]. Mạch Điều Khiển Máy In 3D RAMPS 1.4. Truy cập từ: <https://nshopvn.com/product/mach-dieu-khien-may-in-3d-ramps-1-4/>
- [15]. Mạch điều khiển động cơ bước Stepper Motor Driver DRV8825. Truy cập từ: <https://hshop.vn/products/mach-dieu-khien-dong-co-buoc-drv8825>