

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA CƠ KHÍ
BỘ MÔN CƠ ĐIỆN TỬ



BÀI THẢO LUẬN NHÓM SỐ 2
ĐIỀU KHIỂN CÁC HỆ THỐNG
SERVO

GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN: THẦY NGUYỄN DUY ÁNH

NHÓM SINH VIÊN:

| Student name | Student ID |
|-----------------|------------|
| Dao Trong Chan | 2210350 |
| Tran Quang Dao | 2210647 |
| Vo Huu Du | 2210604 |
| Duong Quang Duy | 2210497 |

HCM City - November 2025

Table of Contents

| | |
|--|-----------|
| 1 Chọn động cơ phù hợp cho ứng dụng trên | 4 |
| 1.1 Tính toán vận tốc tối đa động cơ cần hoạt động | 4 |
| 1.2 Tính toán momen quán tính quy về trục động cơ | 4 |
| 1.3 Tính momen tải cho các pha | 5 |
| 1.4 Tính toán thời gian các giai đoạn | 5 |
| 1.4.1 Quick feed | 6 |
| 1.4.2 Cutting feed | 6 |
| 1.4.3 Quick return | 6 |
| 1.4.4 Bảng tổng hợp thời gian và quãng đường các giai đoạn | 7 |
| 1.5 Lựa chọn động cơ | 8 |
| 1.6 Tính momen RMS | 11 |
| 1.7 Kết luận | 11 |
| 2 Lưu đồ giải thuật | 13 |
| 2.1 Chương trình chính | 13 |
| 2.2 Chương trình con | 14 |
| Bibliography | 15 |

Đề bài

Cho một máy khoan cần điều khiển chuyển động theo một quỹ đạo xác định như hình dưới đây với các thông số:

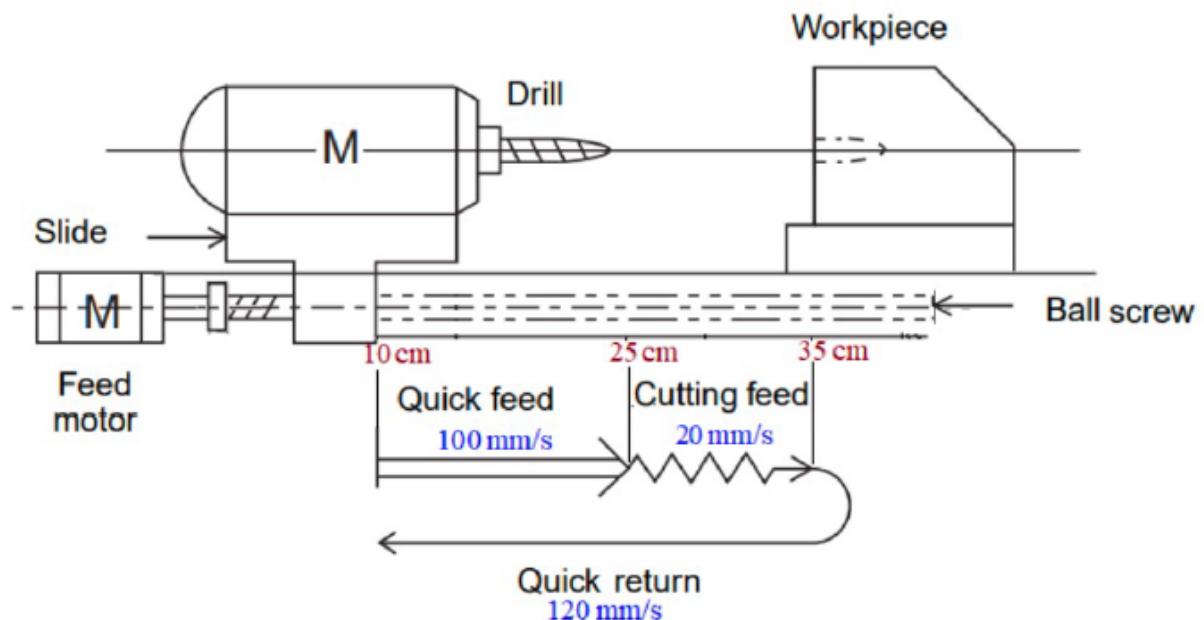


Figure 1: Mô tả chuyển động của máy khoan

1. Thông số chuyển động:

- Tốc độ tiến nhanh: $v_1 = 100 \text{ mm/s}$
- Tốc độ cắt (gia công): $v_2 = 20 \text{ mm/s}$
- Tốc độ rút nhanh: $v_3 = 120 \text{ mm/s}$
- Gia tốc / giảm tốc: $a = 2000 \text{ mm/s}^2$

2. Hành trình di chuyển:

- L_1 (tiến nhanh): 150 mm
- L_2 (cắt): 100 mm
- L_3 (rút nhanh): 250 mm

3. Thông số trục vít me bi (Lead Screw Specifications):

- Đường kính: $d = 20 \text{ mm}$
- Bước vít (Lead): $P = 5 \text{ mm/vòng}$



- Chiều dài vít: $L = 400$ mm
- Vật liệu: Thép SCM440 ($\rho = 7850$ kg/m³)
- Hiệu suất truyền động: $\eta = 0.9$

4. Thông số tải (Load Parameters):

- Khối lượng bàn trượt: $m = 12$ kg
- Lực cắt khi khoan: $F_c = 200$ N
- Hệ số ma sát ray trượt tuyến tính: $\mu = 0.004$
- Momen quán tính khớp nối: $J_{coupling} = 0.05 \times 10^{-4}$ kg·m²

Yêu cầu

1. Chọn động cơ phù hợp cho ứng dụng trên.
2. Vẽ sơ đồ điều khiển tích hợp PLC.
3. Vẽ lưu đồ thuật toán điều khiển (flowchart).

Chapter 1

Chọn động cơ phù hợp cho ứng dụng trên

1.1 Tính toán vận tốc tối đa động cơ cần hoạt động

Dựa trên mô tả chuyển động, ta thấy vận tốc nhanh nhất tương ứng với quick return là 120 mm/s. Đó chính là tốc độ tối đa của động cơ.

$$N_{max} = \frac{60v_L}{p} = \frac{60 \times 0.12}{\frac{5}{1000}} = 1440 \text{ rpm}$$

1.2 Tính toán momen quán tính quy về trục động cơ

Để tính toán momen quán tính quy về trục động cơ, ta cần tính toán momen quán tính của từng thành phần và quy về trục động cơ thông qua hệ số truyền động.

- Momen quán tính vít me (trục dẫn):

$$J_{vitme} = \frac{\pi}{32} \rho \cdot L \cdot d^4 = \frac{\pi}{32} \times 7850 \times 0.4 \times 0.02^4 = 4.9 \times 10^{-5} (\text{kg.m}^2)$$

- Momen quán tính bàn trượt (di chuyển tuyến tính):

$$J_{ban_truot} = m \cdot \left(\frac{p}{2\pi} \right)^2 = 12 \cdot \left(\frac{\frac{5}{1000}}{2\pi} \right)^2 = 7.6 \times 10^{-6} (\text{kg.m}^2)$$

- Momen quán tính coupling:

$$J_{coupling} = 0.05 \times 10^{-4} (\text{kg.m}^2) (\text{đã có từ đề bài})$$

- Momen quán tính tổng quy về trục động cơ:

$$J_L = J_{vitme} + J_{ban_truot} + J_{coupling} = 4.9 \times 10^{-5} + 7.6 \times 10^{-6} + 0.05 \times 10^{-4} = 6.16 \times 10^{-5} (\text{kg.m}^2)$$

1.3 Tính momen tải cho các pha

Công thức tính momen tải trực vitme (bỏ qua preload):

$$T_L = \frac{P}{2\pi} \cdot \frac{F}{\eta}$$

Công thức tính giá trị lực tác dụng:

$$F = F_A + \mu mg = F_A + 0.4701 \text{ (N)}$$

Lần lượt tính các giá trị trên cho từng giai đoạn chuyển động:

- Pha tiến nhanh và lùi về: $F_A = 0 \text{ (N)}$

$$\Rightarrow F = F_A + 0.4701 = 0.4701 \text{ (N)}$$

$$\Rightarrow T_L = \frac{5/1000}{2\pi} \cdot \frac{0.4701}{0.9} = 4.16 \times 10^{-4} \text{ Nm}$$

- Pha cắt: $F_A = F_c = 200 \text{ N}$

$$\Rightarrow F = F_A + 0.4701 = 200 + 0.4701 = 200.4701 \text{ (N)}$$

$$\Rightarrow T_L = \frac{5/1000}{2\pi} \cdot \frac{200.4701}{0.9} = 0.1773 \text{ Nm}$$

Momen tải đỉnh

$$T_{max} = T_L + T_a \text{ (Nm)}$$

Trong đó:

- T_L là momen tải trực vitme tính toán ở trên.
- T_a là momen tải tăng tốc:

$$T_a = \frac{(J_L + J_0)N_{max}}{9.55t} = \frac{(6.16 \times 10^{-5} + J_0)N_{max}}{9.55t}$$

Tính toán cho các giai đoạn:

- Cutting feed: $T_a = 0 \text{ Nm} \Rightarrow T_{max1} = T_{L_{max}} = 0.1773 \text{ Nm}$
- Quick feed/Quick return: $T_{max2} = T_L + T_a = 4.16 \times 10^{-4} + T_a$

1.4 Tính toán thời gian các giai đoạn

- Quick feed (tiến nhanh): vận tốc tăng dần đều v_{a1} , vận tốc đều v_1 , vận tốc giảm dần đều v_{d1}
- Cutting feed (cắt): vận tốc đều v_2 , vận tốc giảm dần đều v_{d2}
- Return feed (rút nhanh): vận tốc tăng dần đều v_{a3} , vận tốc đều v_3 , vận tốc giảm dần đều v_{d3}



1.4.1 Quick feed

Thời gian tăng tốc:

$$t_{a1} = \frac{v_1 - 0}{a} = \frac{0.1 - 0}{2} = 0.05s$$

Đoạn đường tăng tốc:

$$L_{a1} = \frac{v_1^2 - 0^2}{2a} = \frac{0.1^2 - 0}{2 \times 2} = 0.0025m$$

Thời gian giảm tốc:

$$t_{d1} = \frac{v_1 - v_2}{a} = \frac{0.1 - 0.02}{2} = 0.04s$$

Đoạn đường giảm tốc:

$$L_{d1} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{0.02^2 - 0.1^2}{2 \times 2} = 0.0024m$$

Đoạn đường chuyển động đều:

$$L_{v1} = L_1 - L_{a1} - L_{d1} = 0.15 - 0.0025 - 0.0024 = 0.1451 \text{ m}$$

Thời gian chuyển động đều:

$$t_{v1} = \frac{L_{v1}}{v_1} = \frac{0.1451}{0.1} = 1.451 \text{ s}$$

1.4.2 Cutting feed

Thời gian giảm tốc:

$$t_{d2} = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{0.02 - 0}{2} = 0.01s$$

Đoạn đường giảm tốc:

$$L_{d2} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a} = \frac{0^2 - 0.02^2}{2 \times 2} = 0.0001m$$

Đoạn đường chuyển động đều:

$$L_{v2} = L_2 - L_{d2} = 0.1 - 0.0001 = 0.0999 \text{ m}$$

Thời gian chuyển động đều:

$$t_{v2} = \frac{L_{v2}}{v_2} = \frac{0.0999}{0.02} = 4.995 \text{ s}$$

1.4.3 Quick return

Thời gian tăng tốc:

$$t_{a3} = \frac{v_3 - v_2}{a} = \frac{0.12 - 0.02}{2} = 0.05s$$



Đoạn đường tăng tốc:

$$L_{a3} = \frac{v_3^2 - v_2^2}{2a} = \frac{0.12^2 - 0.02^2}{2 \times 2} = 0.0035m$$

Đoạn đường giảm tốc:

$$L_{d3} = \frac{v_3^2 - 0^2}{2a} = \frac{0.12^2 - 0^2}{2 \times 2} = 0.0036m$$

Đoạn đường chuyển động đều:

$$L_{v3} = L_3 - L_{a3} - L_{d3} = 0.25 - 0.0035 - 0.0036 = 0.2429 \text{ m}$$

Thời gian chuyển động đều:

$$t_{v3} = \frac{L_{v3}}{v_3} = \frac{0.2429}{0.12} = 2.02417 \text{ s}$$

Thời gian giảm tốc:

$$t_{d3} = \frac{v_3 - 0}{a} = \frac{0.12 - 0}{2} = 0.06s$$

1.4.4 Bảng tổng hợp thời gian và quãng đường các giai đoạn

| Giai đoạn | Thời gian (s) | Quãng đường (m) | Vận tốc (m/s) |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|
| Quick feed (Tiến nhanh) | | | |
| Tăng tốc | $t_{a1} = 0.05$ | $L_{a1} = 0.0025$ | $0 \rightarrow 0.1$ |
| Chuyển động đều | $t_{v1} = 1.451$ | $L_{v1} = 0.1451$ | $v_1 = 0.1$ |
| Giảm tốc | $t_{d1} = 0.04$ | $L_{d1} = 0.0024$ | $0.1 \rightarrow 0.02$ |
| Tổng | 1.541 | 0.15 | |
| Cutting feed (Cắt) | | | |
| Chuyển động đều | $t_{v2} = 4.995$ | $L_{v2} = 0.0999$ | $v_2 = 0.02$ |
| Giảm tốc | $t_{d2} = 0.01$ | $L_{d2} = 0.0001$ | $0.02 \rightarrow 0$ |
| Tổng | 5.005 | 0.1 | |
| Quick return (Rút nhanh) | | | |
| Tăng tốc | $t_{a3} = 0.05$ | $L_{a3} = 0.0035$ | $0.02 \rightarrow 0.12$ |
| Chuyển động đều | $t_{v3} = 2.02417$ | $L_{v3} = 0.2429$ | $v_3 = 0.12$ |
| Giảm tốc | $t_{d3} = 0.06$ | $L_{d3} = 0.0036$ | $0.12 \rightarrow 0$ |
| Tổng | 2.13417 | 0.25 | |
| TỔNG TOÀN BỘ CHU KỲ | | | |
| Tổng cộng | 8.68017 s | 0.5 m | |

Table 1.1: Bảng tổng hợp thời gian và quãng đường các giai đoạn chuyển động

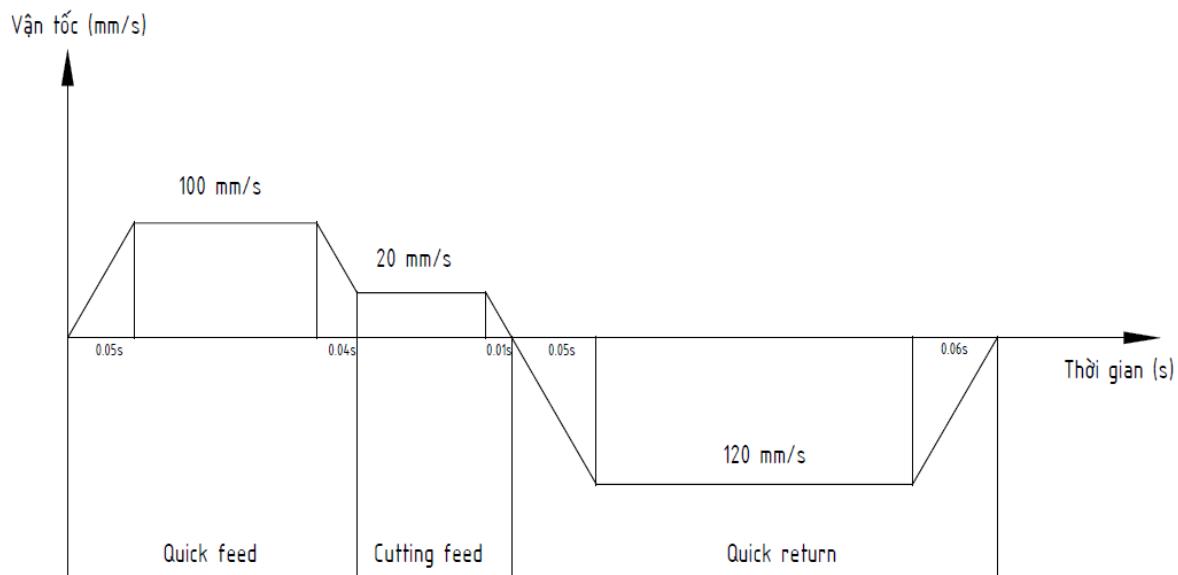


Figure 1.1: Motion Profile thiết kế

1.5 Lựa chọn động cơ

Chọn trước động cơ ECMA-C10602ES của hãng Delta

Automation for a Changing World

Delta AC Servo Drive & Motor ASDA-B2 Series



www.deltaww.com

 **DELTA**
Smarter. Greener. Together.

Figure 1.2: Bìa catalog của động cơ Servo hãng Delta

ECMA Series Servo Motors

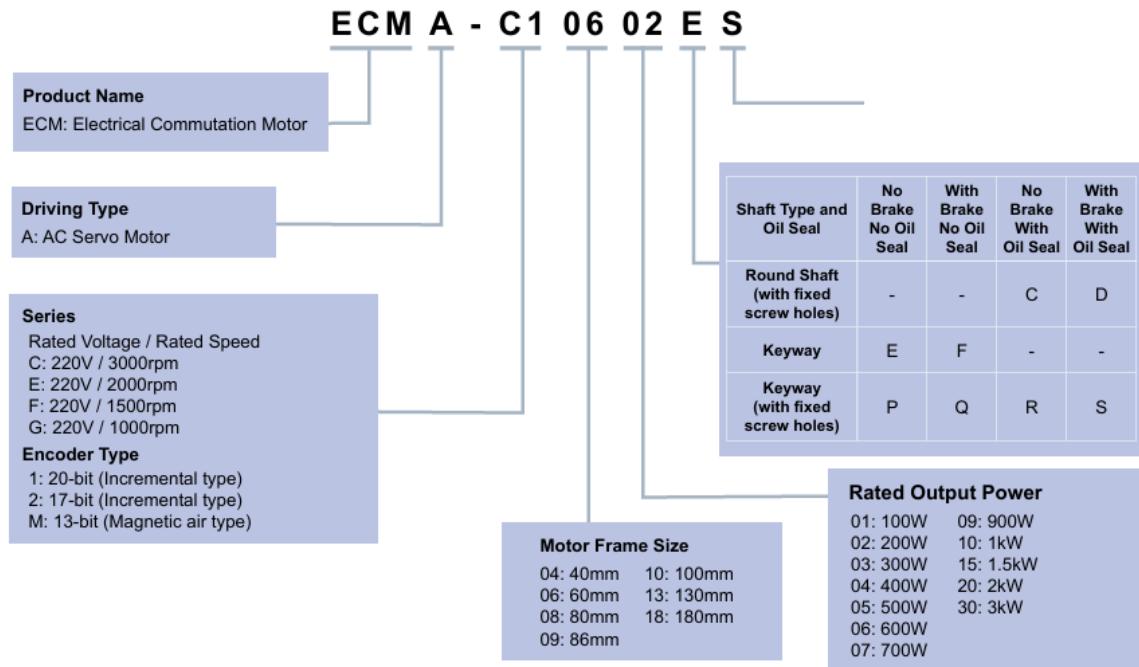


Figure 1.3: Động cơ Servo dòng ECMA

Servo Motor Specifications

Low Inertia Series

| Model: ECMA Series | C△04 | | C△06 | | C△08 | | C△09 | | C△10 | | C△13 |
|---|----------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|--------|------|
| | 01 | 02 | 04-S | 04 | 07 | 07 | 10 | 10 | 20 | 30 | |
| Rated power (kW) | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.75 | 0.75 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | |
| Rated torque (N·m) ¹ | 0.32 | 0.64 | 1.27 | 1.27 | 2.39 | 2.39 | 3.18 | 3.18 | 6.37 | 9.55 | |
| Maximum torque (N·m) | 0.96 | 1.92 | 3.82 | 3.82 | 7.16 | 7.14 | 8.78 | 9.54 | 19.11 | 28.65 | |
| Rated speed (r/min) | | | 3000 | | | 3000 | | 3000 | | 3000 | |
| Maximum speed (r/min) | | | 5000 | | | 3000 | | 5000 | | 4500 | |
| Rated current (A) | 0.90 | 1.55 | 2.6 | 2.6 | 5.1 | 3.66 | 4.25 | 7.3 | 12.05 | 17.2 | |
| Maximum current (A) | 2.70 | 4.65 | 7.8 | 7.8 | 15.3 | 11 | 12.37 | 21.9 | 36.15 | 47.5 | |
| Power rating (kW/s) | 27.7 | 22.4 | 57.6 | 24.0 | 50.4 | 29.6 | 38.6 | 38.1 | 90.6 | 71.8 | |
| Rotor inertia (x10 ⁻⁴ kg·m ²)(without brake) | 0.037 | 0.177 | 0.277 | 0.68 | 1.13 | 1.93 | 2.62 | 2.65 | 4.45 | 12.7 | |
| Mechanical constant (ms) | 0.75 | 0.80 | 0.53 | 0.74 | 0.63 | 1.72 | 1.20 | 0.74 | 0.61 | 1.11 | |
| Torque constant-KT (N·m/A) | 0.36 | 0.41 | 0.49 | 0.49 | 0.47 | 0.65 | 0.75 | 0.44 | 0.53 | 0.557 | |
| Voltage constant-KE(mV/(r/min)) | 13.6 | 16 | 17.4 | 18.5 | 17.2 | 24.2 | 27.5 | 16.8 | 19.2 | 20.98 | |
| Armature resistance (Ohm) | 9.30 | 2.79 | 1.55 | 0.93 | 0.42 | 1.34 | 0.897 | 0.20 | 0.13 | 0.0976 | |
| Armature inductance (mH) | 24.0 | 12.07 | 6.71 | 7.39 | 3.53 | 7.55 | 5.7 | 1.81 | 1.50 | 1.21 | |
| Electric constant (ms) | 2.58 | 4.3 | 4.3 | 7.96 | 8.36 | 5.66 | 6.35 | 9.3 | 11.4 | 12.4 | |
| Insulation class | Class A (UL), Class B (CE) | | | | | | | | | | |
| Insulation resistance | >100 MΩ, 500 Vdc | | | | | | | | | | |
| Insulation strength | 1.8 kVAC, 1 sec | | | | | | | | | | |
| Weight (kg) (without brake) | 0.5 | 1.2 | 1.6 | 2.1 | 3.0 | 2.9 | 3.8 | 4.3 | 6.2 | 7.8 | |
| Weight (kg) (with brake) | 0.8 | 1.5 | 2.0 | 2.9 | 3.8 | 3.69 | 5.5 | 4.7 | 7.2 | 9.2 | |
| Max. radial shaft load (N) | 78.4 | 196 | 196 | 245 | 245 | 245 | 245 | 490 | 490 | 490 | |
| Max. thrust shaft load (N) | 39.2 | 68 | 68 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | |
| Power rating (kW/s) (with brake) | 25.6 | 21.3 | 53.8 | 22.1 | 48.4 | 29.3 | 37.9 | 30.4 | 82 | 65.1 | |
| Rotor inertia (x10 ⁻⁴ kg·m ²) (with brake) | 0.04 | 0.192 | 0.30 | 0.73 | 1.18 | 1.95 | 2.67 | 3.33 | 4.95 | 14.0 | |
| Mechanical constant (ms) (with brake) | 0.81 | 0.85 | 0.57 | 0.78 | 0.65 | 1.74 | 1.22 | 0.93 | 0.66 | 1.22 | |
| Brake holding torque [Nt·m (min)] ² | 0.3 | 1.3 | 1.3 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 8 | 8 | 10.0 | |
| Brake power consumption (at 20°C) [W] | 7.3 | 6.5 | 6.5 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 18.7 | 18.7 | 19.0 | |
| Brake release time [ms (Max)] | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| Brake pull-in time [ms (Max)] | 25 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | |
| Vibration grade (μm) | 15 | | | | | | | | | | |

Figure 1.4: Thông số momen quán tính của động cơ được chọn

Ta có thông số momen quán tính rotor động cơ:

$$J_0 = J_M = 0.192 \times 10^{-4} (\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

$$\Rightarrow \text{Tỷ lệ momen quán tính: } \frac{J_L}{J_M} = \frac{6.16 \times 10^{-5}}{0.192 \times 10^{-4}} = 3.208$$

Với T_a được tính như sau:

$$T_a = \frac{(J_L + J_0)N_{max}}{9.55t} = \frac{(6.16 \times 10^{-5} + J_0)N_{max}}{9.55t} = \frac{(6.16 \times 10^{-5} + J_0)\Delta N_{max}}{9.55\Delta t}$$

Xét thời gian tăng tốc ngắn nhất (worst case) là $\Delta t = 0.05s$ và $\Delta N_{max} = 1440$ rpm của giai đoạn chuyển từ Cutting feed sang Quick return:

$$T_a = \frac{(6.16 \times 10^{-5} + 0.192 \times 10^{-4}) \times 1440}{9.55 \times 0.05} = 0.24367 \text{ Nm}$$

$$\Rightarrow T_{max2} = T_L + T_a = 4.16 \times 10^{-4} + 0.24367 = 0.244086 \text{ Nm}$$

Momen tải đỉnh là:

$$\Rightarrow T_M = T_{max2} = 0.244086 \text{ Nm}$$

1.6 Tính momen RMS

Momen RMS được tính theo công thức với các giá trị đã có trên bảng tổng hợp thời gian và quãng đường các giai đoạn:

$$T_{RMS} = \sqrt{\frac{(T_{a1} + T_{L1})^2 t_{a1} + T_{L1}^2 \cdot t_{v1} + (T_{d1} - T_{L1})^2 t_{d1} + T_{L2}^2 \cdot t_{v2} + (T_{a3} + T_{L3})^2 t_{a3} + T_{L3}^2 \cdot t_{v3} + (T_{d3} - T_{L3})^2 t_{d3}}{t_{total}}}$$

$$= \sqrt{\frac{(0 + 4.16 \times 10^{-4})^2 \cdot 0.05 + (4.16 \times 10^{-4})^2 \cdot 1.451 + (0 - 4.16 \times 10^{-4})^2 \cdot 0.04 + (0.1773)^2 \cdot 4.995 + (0 - 0.1773)^2 \cdot 0.01}{8.68017}}$$

$$= 0.1197 \text{ Nm}$$

Torque tối đa tác dụng lên motor trong quá trình chuyển động:

$$T'_{MAX} = T_{max2} = T_a + T_L = 0.244086 + 0.1773 = 0.421386 \text{ (N.m)}$$

1.7 Kết luận

Sau quá trình lựa chọn động cơ và tính toán, ta thấy được $T_{RMS} = 0.1197 \text{ Nm}$ bé hơn $T_{rated} = 0.64 \text{ Nm}$ và $T'_{MAX} = 0.421386 \text{ Nm}$ bé hơn $T_{maximum} = 1.96 \text{ Nm}$ từ catalog, do đó động cơ ECMA-C10602ES của hãng Delta là phù hợp cho ứng dụng trên.

Để điều khiển động cơ, ta sử dụng driver ASD-B2-0221-B của hãng Delta.

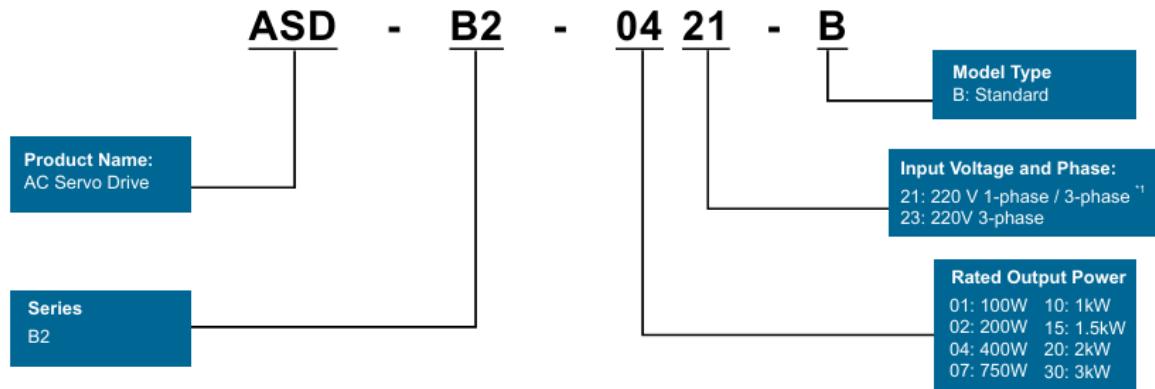
Product Line-up

| Servo Drive | | | | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0.1kW | 200W | 400W | 750W | 1.0kW | 1.5kW | 2kW | 3kW |
| | ASD-B2-0121-B | ASD-B2-0221-B | ASD-B2-0421-B | ASD-B2-0721-B | ASD-B2-1021-B | ASD-B2-1521-B | ASD-B2-2023-B | ASD-B2-3023-B |

Figure 1.5: Driver được chọn

Model Name Explanation

ASDA-B2 Series Servo Drives



NOTE 1. Rated power of 100W to 1.5kW are marked number 21 with 220V, single-phase and three-phase connections

Figure 1.6: Quy ước tên driver

Chapter 2

Lưu đồ giải thuật

2.1 Chương trình chính

Lưu đồ giải thuật chương trình chính

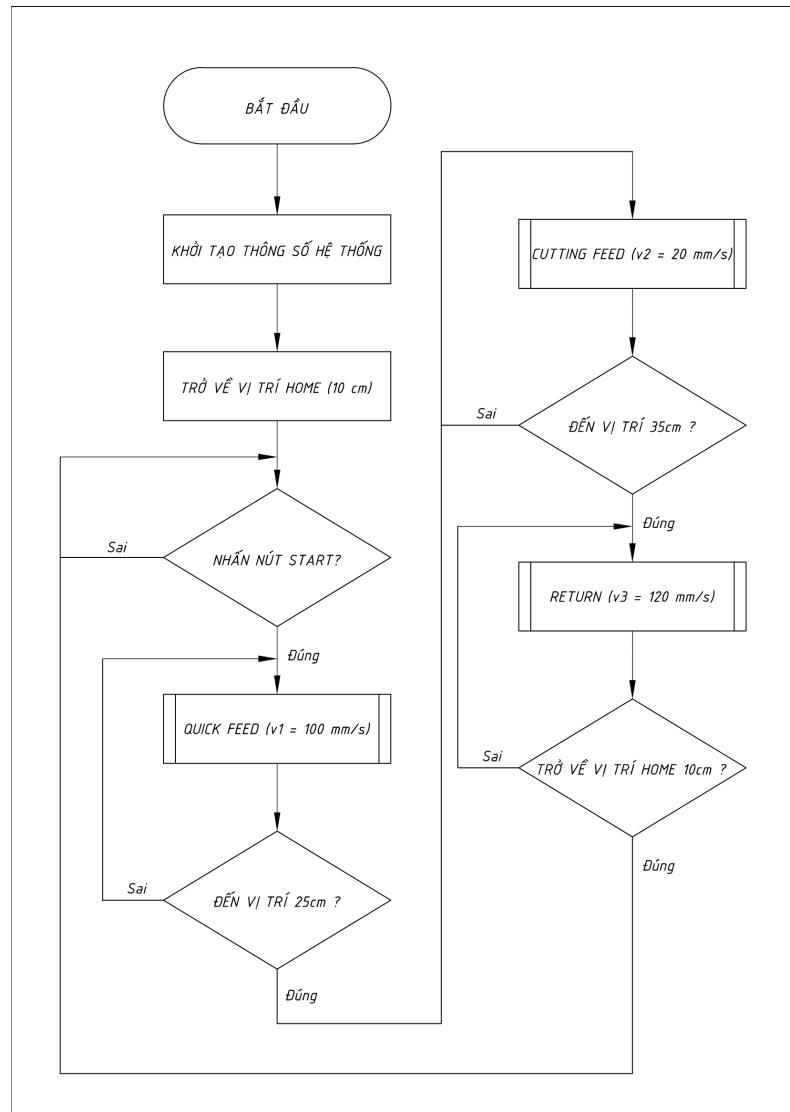


Figure 2.1: Lưu đồ giải thuật chương trình chính

2.2 Chương trình con

Lưu đồ giải thuật các đoạn chương trình con

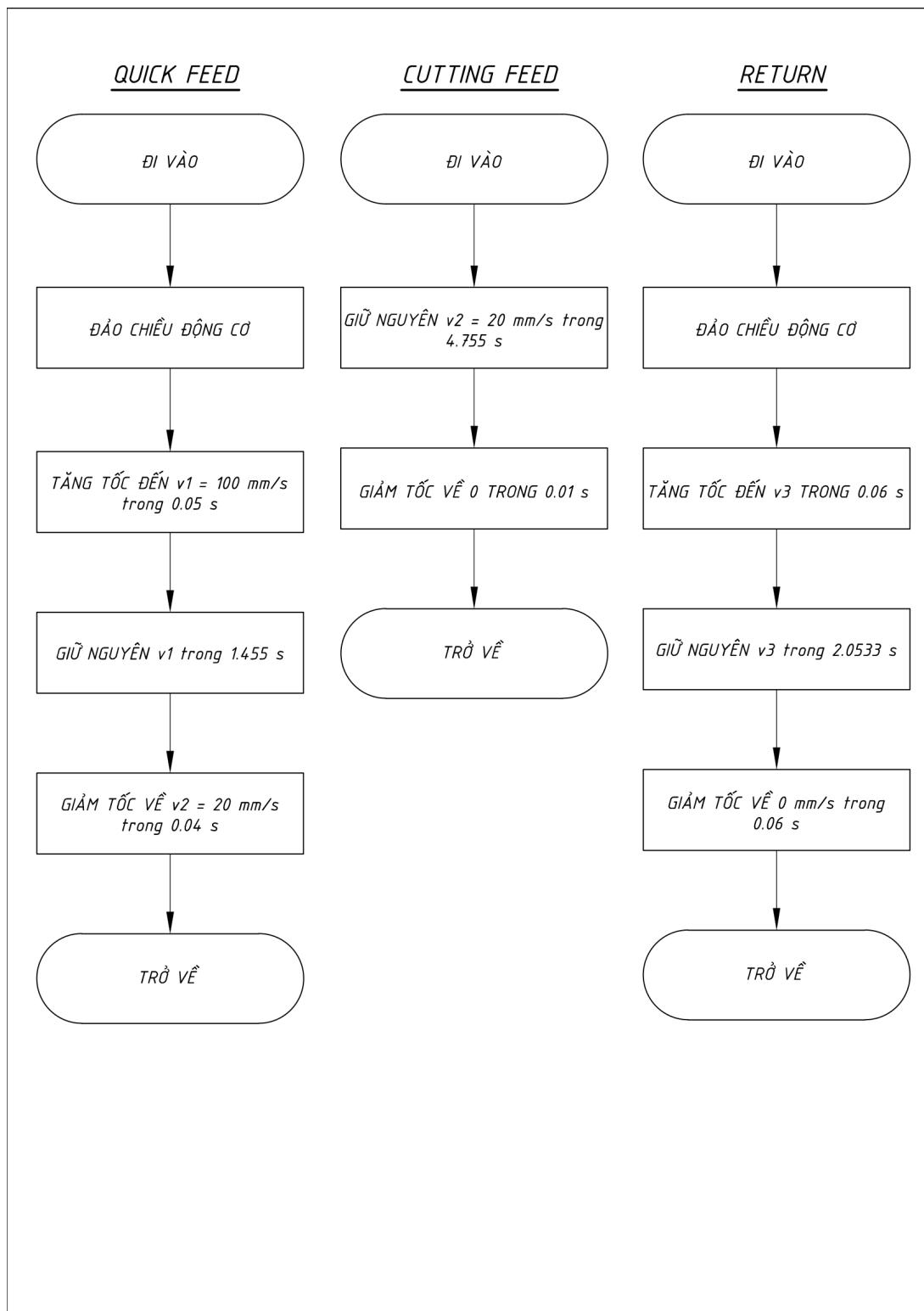


Figure 2.2: Lưu đồ giải thuật các đoạn chương trình con

Bibliography

- [1] Delta Electronics, Inc. *ASDA-B2 Series AC Servo Drive and Motor User Manual*. Accessed: 2025-11-25. Oct. 2021. URL: https://www.deltaww.com/IA/downloadcenter/catalogue/2.Motion/ASDA-B2/DELTA_IA-ASDA_ASDA-B2_C_EN_20211018_Web.pdf.