



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

طراحی و ساخت سیستم توپ و میله

پایان نامه کارشناسی

بتول تاره

آقای دکتر فرهاد بیات

شهریور 91

## فهرست

مقدمه ..... 4

## فصل 1

معرفی سیستم توپ و میله ..... 5

1-1 شرح کار سیستم توپ و میله ..... 5

## فصل 2

مدل ریاضی سیستم توپ و میله ..... 7

2-1 مدل ریاضی توپ و میله ..... 7

2-2 مدل ریاضی سروموتور ..... 10

## فصل 3

پیاده سازی بخش سخت افزار سیستم ..... 13

3-1 تعیین و آماده سازی سخت افزار سیستم ..... 13

3-2 اجزای مکانیکی ..... 14

2

3-3 اجزای الکترونیکی.....17

3-3-1 سنسور مسافت سنج.....17

3-3-2 سئرو موتور DC.....18

3-3-3 میکرو AT mega16.....19

3-3-4 منبع تغذیه.....20

## فصل 4

طراحی کنترلر برای سیستم توپ وميله.....21

4-1 نظریه طراحی وپیاده سازی کنترلر PID.....21

4-2 کاراکترهای P,I,D در کنترلرها.....21

## فصل 5

پیاده سازی بخش نرم افزار سیستم.....23

5-1 برنامه راه اندازی موتور.....23

5-2 برنامه راه اندازی سنسور.....25

5-3 برنامه کنترلر تناسبی در نرم افزار Matlab.....33

5-4 برنامه نهایی سیستم توپ وميله به زبان C++ در محیط Codevision AVR.....33

5-5 شبیه سازی طرح نهایی در محیط proteus.....38

پیوستها.....40

پیوست (الف) دیتا شیت سنسور GP 2D120.....40

پیوست (ب) دیتا شیت موتور SG5010.....45

پیوست (ج) دیتا شیت میکرو ATmega16.....۴۶

فهرست مراجع.....47

## مقدمه

سیستم توپ و میله یکی از مثال های اصلی سیستم کنترلی غیرخطی و ناپایدار است. این سیستم

محبوب و یکی از مدل های آزمایشگاهی مهم برای آموزش سیستم های مهندسی کنترل می باشد، که

برای مطالعه و پوشش طرح های متعدد مدرن و کلاسیک استفاده می شود.

این سیستم همچنین به عنوان یک دستگاه آزمایشی برای فرآیندهای صنعتی و عملکرد آن ها کاربرد

دارد.

مکانیسم توپ و میله شامل دو میله و یک توپ سخت بر روی آن است این توپ آزادانه در امتداد میله

-ها بر اساس تغییر زاویه میله می غلتد.

موقعیت میله و توپ با استفاده از یک سنسور مسافت سنج اندازه گیری می شود و موقعیتی که توپ باید

قرار بگیرد به وسیله سیگنال کنترلی الکتریکی که با راه اندازی موتور ایجاد می شود، کنترل می گردد.

این تکنولوژی سیستم کنترلی حلقه باز ناپایدار است زیرا خروجی سیستم که موقعیت توپ می باشد،

بدون محدودیت با ورودی ثابت (زاویه میله) افزایش می یابد.

هدف اصلی از این پروژه توسعه سخت افزاری و نرم افزاری سیستم کنترلی توپ و میله با میکرواست

که تنظیم موقعیت توپ بر روی میله را بر عهده دارد.

## فصل 1

### معرفی سیستم توپ وميله

#### 1-1 شرح کارسیستم توپ وميله

هدف ازطراحی سیستم توپ وميله کنترل موقعیت توپ روی ميله ها بوسيله موقعیت زاویه سروموتورمی باشد پروژه برق وانشاء

باشد، این سیستم اغلب درساختمان طرح های کنترلی وجود دارد. پروژه برق وانشاء

درمدل کنترلی مربوط به سیستم کنترلی افتادن راکت یک سیستم فیدبک برای جلوگیری از افتادن راکت پروژه برق وانشاء

در نظرگرفته می شود، همچنین موجب حفظ تعادل بوسيله نیرو وعناصری که می تواند درشروع مانع پروژه برق وانشاء

آشفتن حرکت عمودی شود، وجود دارد. پروژه برق وانشاء

اجزاء اصلی سیستم شامل توپ فولادی، دوميله طولی، یک سروموتور DC، یک منبع انرژی، تقویت کننده پروژه برق وانشاء

محاسباتی ویک کامپیوترشخصی و... پروژه برق وانشاء

دراین طراحی مسیرمخصوصی برای حرکت توپ بین دوميله درنظرگرفته شده است وقتی توپ روی پروژه برق وانشاء

میله های موازی متصل به هم می غلظد مشابه جاروب یک پتانسیل سنج رفتارمی کند. پروژه برق وانشاء

موقعیت توپ روی مسیری می تواند بوسيله ولتاژ اندازه گیری شده توسط سنسورمسافت سنج تعیین گردد. پروژه برق وانشاء

همچنین برای اندازه گیری زاویه چرخ دنده یک پتانسیل سنج دربندنه موتور قرارداده شده است. پروژه برق وانشاء

پروژه برق وانشاء

هر پایه از پتانسیومتر به طور صحیح به یک مقاومت وصل شده تا ولتاژ منبع تغذیه تقلیل یابد.

سیستم توپ و میله دونوع اندازه رانشان می دهد، انکدر سروموتور برای اندازه گیری خروجی و سنسور

اندازه جابه جایی توپ را فراهم می کند.

این سیستم کنترلی به دو حلقه فیدبک نیاز دارد، یک حلقه درونی برای کنترل زاویه موتور که برای حرکت

میله ها می باشد و حلقه بیرونی برای کنترل موقعیت توپ است، که برای هر حلقه فیدبک سرعت و نسبت

گین مشخصی طراحی می شود.

بنابراین دو کنترلر وجود دارد، هدف کنترلر موتور اینست که عملکرد سروموتور موجب شود که خروجی

زاویه ورودی را دنبال کند و هدف از کنترلر توپ و میله اینست که توپ موقعیت مرجع را دنبال کند.

اگر کنترلر سروموتور با سرعت لازم به کنترلر توپ و میله پاسخ دهد این کنترلر می تواند به طور مستقل

طراحی شود.

## فصل 2

### مدل ریاضی سیستم توپ و میله

توصیف کامل از حرکت دینامیکی توپ و میله کاملاً پیچیده است از یک طرح ساده برای طراحی

سیستم کنترلی استفاده می شود که برای طراحی کنترلر یک مدل خوب می دهد.

تویی که بانیر و شتاب روی میله و اجزاء آن در حرکت است جاذبه ای روی میله های موازی ایجاد

می کند و شتاب دادن رو به جلوی توپ از طریق حرکت دادن میله اصطکاک ایجاد می کند، که برای

سادگی فرض می کنیم توپ لغزش بدون اصطکاک روی میله دارد تا بتوانیم مدل ریاضی برای سیستم

توپ و میله بنویسیم .

برای سادگی طراحی کنترلر این مدل به دو گروه به صورت زیر تقسیم می شود:

1-مدل ریاضی توپ و میله

2-مدل ریاضی سرو موتور

1-2 مدل ریاضی توپ و میله

موقعیت دینامیکی توپ بوسیله مکانیک کلاسیک تعیین می شود و در این مدل داریم:

موقعیت توپ  $r$ ، زاویه میله  $\alpha$ ، طول میله  $L$ ، جرم توپ  $m$ ، شعاع توپ  $R$ ، ثابت گرانشی  $g$ ، گیربوکس

موتور  $\theta$ ، طول بازوی هرم  $d$  .

مختصات و بردار نیرو طبق تعریف هستند و نمودار ایستایی در شکل 2.1 نشان داده شده است.



## پیوست (ب) دیتا شیت موتور SG5010



### Specifications:

#### Professional High Speed SG-5010 Servo

Dimensions: 1.57" x 0.79" x 1.44" (40 x 20 x 36.5mm)

Weight: 1.44oz (39g)

Operating Speed (4.8V no load) : 0.14sec / 60 degrees

Operating Speed (6.0V no load) : 0.11sec / 60 degrees

Stall Torque (4.8V): (8 kg/cm) (110oz/in.)

Stall Torque (6.0V): (11kg/cm) (156oz/in.)

Temperature Range: -30 to +60 Degree C

Dead Band Width: 4usec

Operation Voltage: 3.5 - 8.4Volts



### Features:

- Coreless Motor
- Double Boll Bearing
- Light Weight
- Less Noise
- Connector Wire Length 300mm

## پیوست (ج) دیتا شیت میکرو ATmega16

### Features

- High-performance, Low-power AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
  - 16K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
    - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - 512 Bytes EEPROM
    - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
  - 1K Byte Internal SRAM
  - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
  - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
  - Extensive On-chip Debug Support
  - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four PWM Channels
  - 8-channel, 10-bit ADC
    - 8 Single-ended Channels
    - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
    - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
  - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated RC Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 32 Programmable I/O Lines
  - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad MLF
- Operating Voltages
  - 2.7 - 5.5V for ATmega16L
  - 4.5 - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
  - 0 - 8 MHz for ATmega16L
  - 0 - 16 MHz for ATmega16
- Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L
  - Active: 1.1 mA
  - Idle Mode: 0.35 mA
  - Power-down Mode: < 1 µA



8-bit AVR®  
Microcontroller  
with 16K Bytes  
In-System  
Programmable  
Flash

ATmega16

ATmega16L

2499G-AVR-10/03

## فهرست مراجع

[1] Y.C.Chu, J.Huang, A neural-network method for the nonlinear servomechanism, problem, IEEE Trans. Neural Networks, Vol.10, No.6, 1412-1423, 1999.

[2] P.H.Eaton, D.V.Prokhorov, D.C. Wunsch II, Neurocontroller alternatives for "fuzzy" ball-and-beam systems with nonuniform nonlinear friction, IEEE Trans. Neural Networks, Vol.11, No.2, 423-435, 2000.

[3] F.Gordillo, F.Gómez-Estern, R.Ortega, and J.Arakil, On the ball and beam problem: regulation with guaranteed transient performance and tracking periodic orbits, International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems, University of Notre Dame, IN, USA. August, 2002.

[4] J.Hauser, S.Sastry and P.Kokotovic, Nonlinear control via approximate input-output linearization: ball and beam example, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.37, No.3,392-398., 1992.

[5] R. M. Hirschorn, Incremental sliding mode control of the ball and beam, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.47, No.10, 1696-1700, 2002.

[6] N.H. Jo, J.H.Seo, A state observer for nonlinear systems and its application to ball and beam system, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.45, No.5, 968 -973, 2000.

[7] Ball and Beam-Experiment and Solution, Quanser Consulting, 1991.

[8] R. A. Pease, "What's All This Ball-On-Beam-Balancing Stuff, Anyhow," Electronic Design Analog Applications, p. 50-52, November 20, 1995.