

به نام خدا

# کنترل پاندول معکوس با استفاده از کنترل فازی

نویسنده:

محمد یار محمدی

چکیده:

در این پروژه سعی بر آن بوده است که به کمک یک کنترل کننده فازی در عمل یک پاندول را به صورت معکوس نگه داشته شود.



در این پروژه سعی بر آن بوده است که به کمک یک کنترل کننده فازی در عمل یک پاندول را به صورت معکوس نگه داشته شود.

قسمتهای مختلف این پروژه شامل بخش مکانیکی، بخش الکترونیکی و بخش نرم افزاری می باشد.

بخش مکانیکی شامل یک ماشین مدل و یک پاندول می باشد، قسمت الکترونیکی شامل میکرو کنترلر است که وظیفه آن خواندن اطلاعات سنسور و ارسال آن به کامپیوتر و همچنین دریافت اطلاعات از کامپیوتر و تنظیم سرعت موتورهایست.

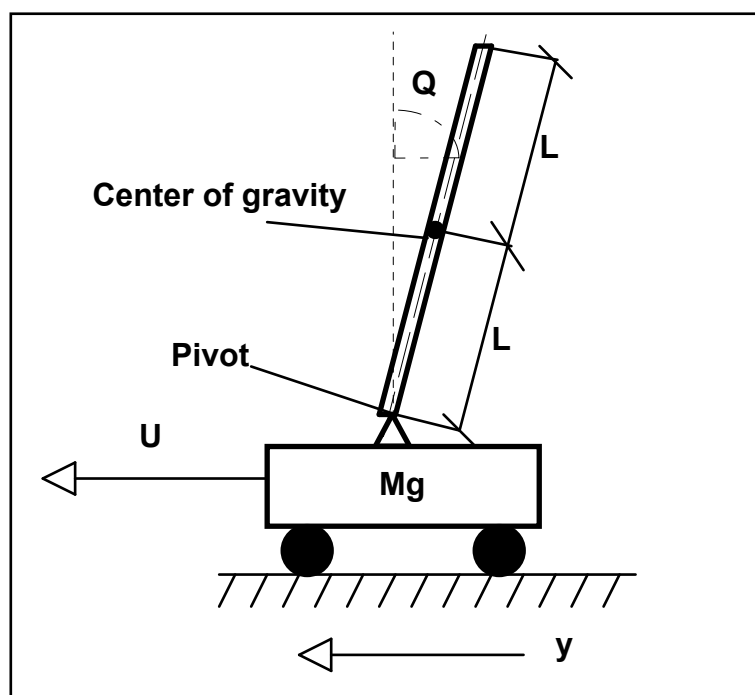
در بخش نرم افزاری کنترل کننده فازی با استفاده از نرم افزار MATLAB به صورت دو ورودی (زاویه و مشتق اول آن) و یک خروجی (سرعت موتورهای) طراحی شده است، که به راحتی برای نمونه های دیگر سخت افزاری قابل تعمیم است.

از نظر تئوری و شبیه سازی پاندول را میتوان به کمک هفت قانون به صورت معکوس نگه داشت.

در عمل برای نگه داشتن پاندول ۴۹ قانون در نظر گرفته شده است اما بعد از اتمام طراحی کنترل کننده، به علت دقت پایین سنسور و خطای حالت دایم آن و همچنین real time نبودن کنترل کننده، پاندول تقریباً به مدت ۵ الی ۶ ثانیه به صورت معکوس می ماند و سپس پایداری خود را از دست می دهد.

## بخش مکانیکی:

بخش مکانیکی شامل یک ماشین مدل کوچک به همراه ۲ موتور است که روی آن یک پاندول نصب شده است. این پاندول قادر است در ۲ جهت (جلو و عقب ماشین) به راحتی حرکت کند، و هدف کنترل کننده این است که با حرکت دادن مناسب ماشین به جلو و عقب مانع افتادن پاندول شود.



شمای کلی

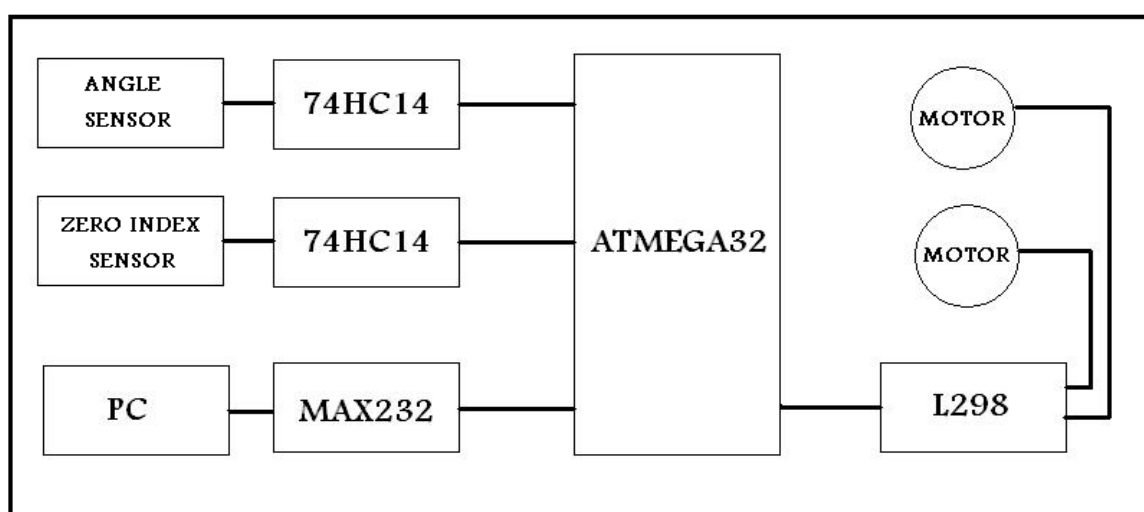
## بخش الکترونیکی:

این بخش شامل میکروکنترلر، سنسور و مدارهای مربوط با آن و قسمت مربوط به ارتباط با کامپیوتر میباشد.

### میکروکنترلر:

میکروکنترلر اطلاعات را از سنسورها دریافت میکند و زاویه انحراف پاندول و مشتق اول آن را محاسبه می نماید. با فرمانی که از کامپیوتر ارسال می شود این اطلاعات به از طریق پورت سریال به کامپیوتر فرستاده می شود، کامپیوتر بعد از محاسبات روی این ورودی ها خروجی کنترل کننده فازی را برای میکروکنترلر می فرستد. میکروکنترلر بعد از دریافت این اطلاعات سرعت موتورها را تنظیم می کند.

شماتیک کلی مدار روی ماشین به این شکل است:



شماتیک مدار

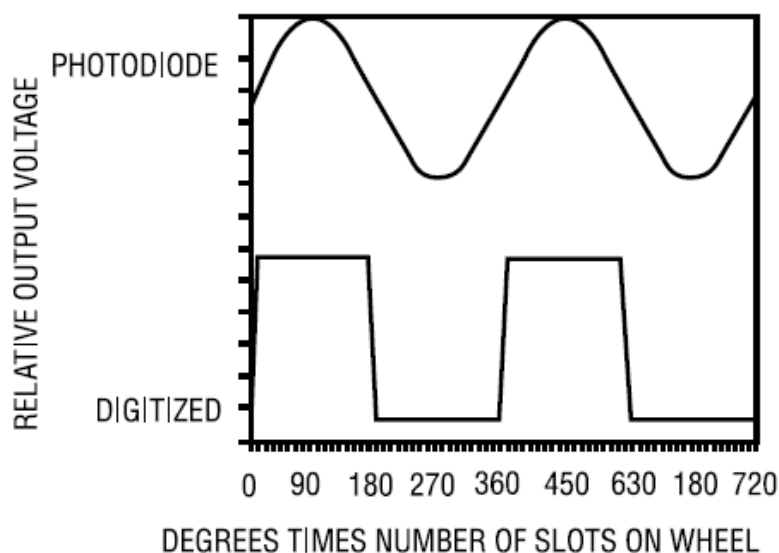
اطلاعات انکودر توسط دو وقفه خارجی حساس به لبه پایین رونده خوانده می شود، همچنین اطلاعات مربوط به موقعیت صفر پاندول نیز توسط یک وقفه خارجی خوتنده میشود که در قسمت سنسور بیشتر راجع با آن توضیح خواهیم داد.

سرعت موتورهای به طور یکسان توسط PWM ای که توسط تایمر ۲ تولید می شود به کمک آی سی L298 کنترل می شوند، همچنین جهت موتورهای به طور یکسان و توسط دو پایه از میکروکنترلر کنترل میشود.

## سنسورها:

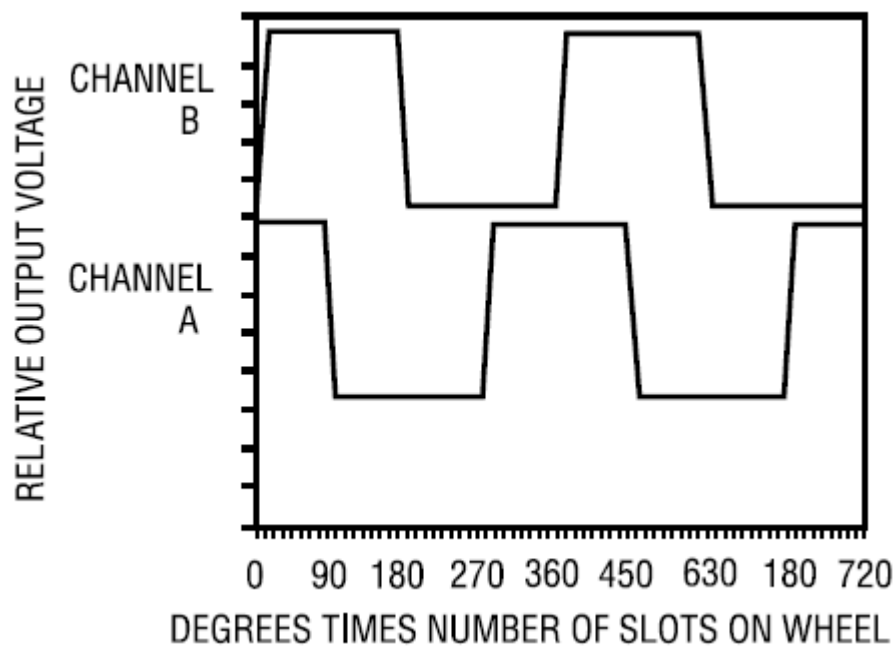
در این پروژه برای اندازه گیری زاویه انحراف پاندول از انکودرهای نوری موس (Mouse) استفاده شده است.

برای استفاده از وقفه های خارجی میکروکنترلر برای خواندن اطلاعات این سنسور باید ابتدا آن را به صورت دیجیتال در آورد، که این کار توسط یک اشمیت تریگر (74HC 14) انجام میشود.



### خروجی سنسور و خروجی اشمیت تریگر

این انکودر دارای دو کانال خروجی است که ۹۰ درجه باهم اختلاف فاز دارند، که به کمک آن می توان جهت حرکت را تشخیص داد.

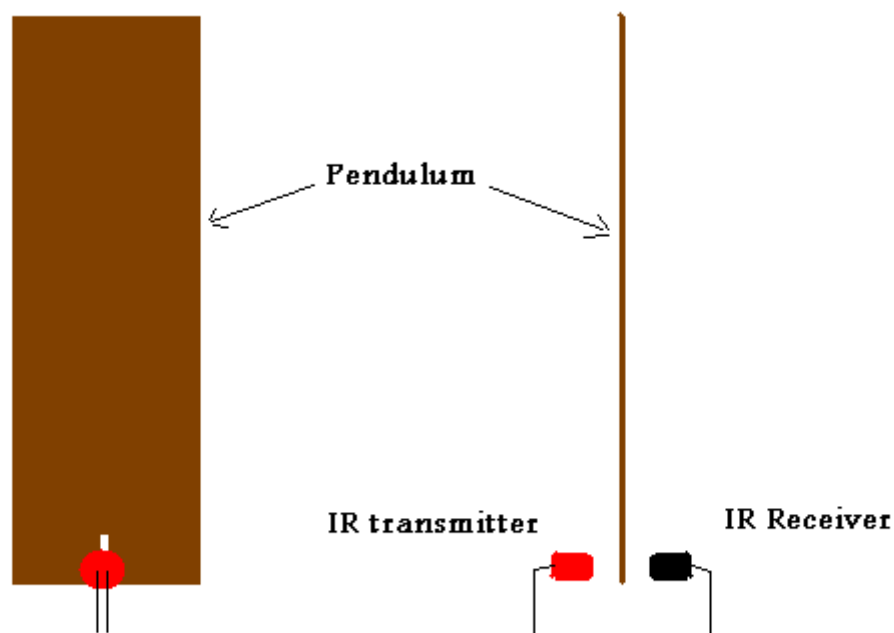


#### خروجی دو کانال

یکی از مشکلات استفاده از انکودر موس دقت پایین آن است،

برای بالا بردن دقت از دو عدد پولی (یکی با محیط بزرگ و دیگری با محیط کوچکتر) برای اتصال محور پاندول به محور انکودر استفاده شده است.

یکی دیگر از مشکلات این سنسور نداشتن خروجی صفر است، به همین خاطر ممکن است باعث خطای حالت دایم شود، برای مقابله با این مشکل یک سنسور مشخص کننده موقعیت صفر برای پاندول ساخته شد که عملکرد آن در شکل زیر مشخص است:



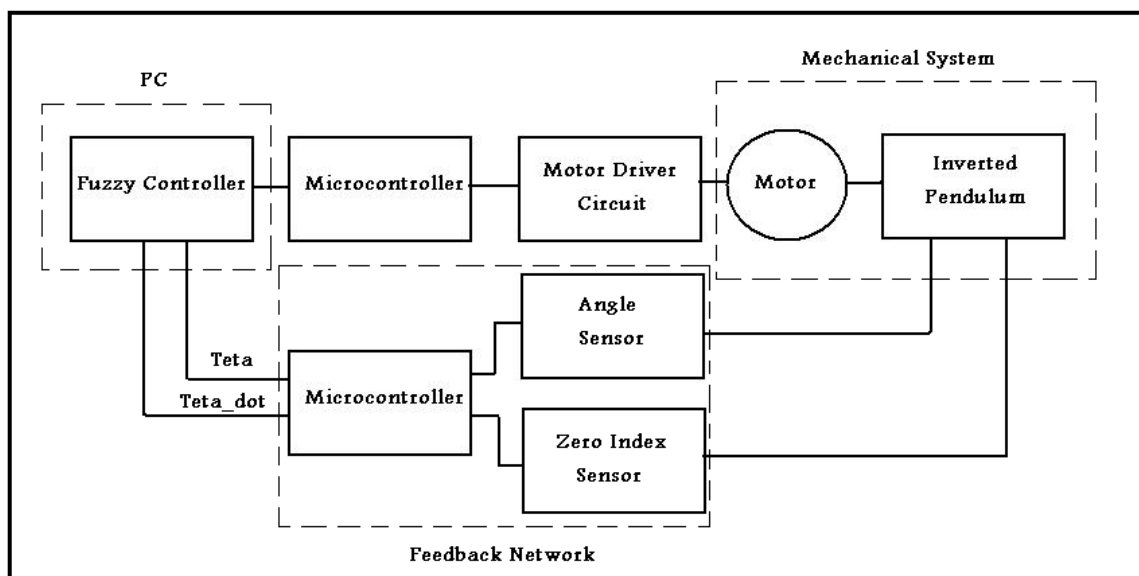
نمای مقابل و کنار پاندول و سنسور موقعیت صفر

## بخش نرم افزاری:

این بخش شامل برنامه ای برای دریافت اطلاعات از میکروکنترلر از طریق پورت سریال و همچنین کنترل کننده فازی است.

## کنترل کننده فازی:

برای طراحی کنترل کننده فازی روشهای مختلفی وجود دارد، یکی از این روشها استفاده از اطلاعات فرد خبره است، از مزایای این روش می توان به عدم نیاز به مدل ریاضی سیستم اشاره کرد. اما عیب آن این است که همیشه نمی توان این اطلاعات را بیان کرد، مثلاً فردی را در نظر بگیرید که به راحتی با یک خوردو رانندگی میکند، اما نمی تواند تمام مهارت خود در رانندگی را بیان کند تا دیگران انجام دهند.



شماتیک کلی سیستم کنترل

## قوانین فازی:

برای کنترل فازی پاندول معکوس در این پروژه از ۴۹ قانون استفاده شده است، که شرح آن در جدول زیر آمده است.

$\frac{d\Theta}{dt}$		NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
PB		ZR	ZR	PS	PS	PM	PB	PB
PM		NS	ZR	ZR	PS	PM	PM	PB
PS		NS	NS	ZR	ZR	PS	PM	PB
ZR		NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NS		NB	NM	NS	ZR	ZR	PS	PM
NM		NB	NM	NM	NS	ZR	ZR	PS
NB		NB	NB	NM	NS	NS	ZR	ZR

جدول قوانین فازی استفاده شده



مشروح علایم بالا بدین ترتیب است:

**PB** : Positive Big

**PM** : Positive Medium

**PS** : Positive Small

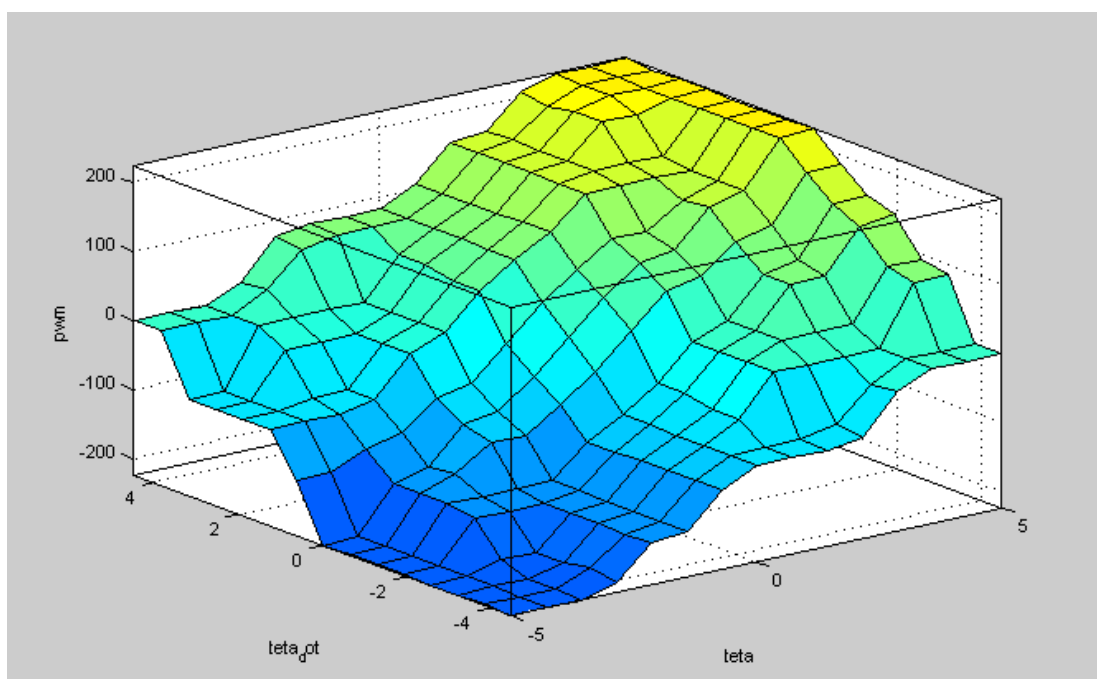
**ZR** : Approximately zero

**NS** : Negative Small

**NM** : Negative Medium

**NB** : Negative Big

سطح ایجاد شده توسط این قوانین بدین شکل است:



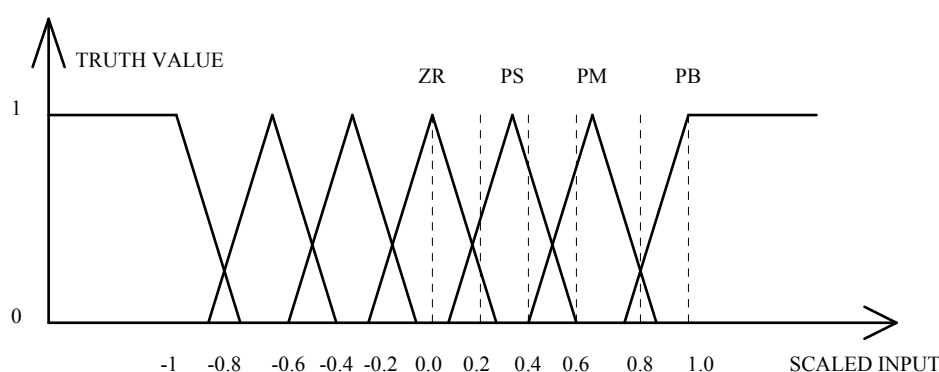
سطح ایجاد شده توسط قوانین فازی

## توابع عضویت:

برای این پروژه از توابع مثلثی و دوزنقه ای پیوسته برای سادگی و دقت بالا و همچنین Real time بودن کنترل استفاده شده است.

اگرچه توابع نوع Bell نتیجه بهتری رو خواهند داشت، اما محاسبات مربوط به فازی سازی و غیر فازی سازی آنها زمان بیشتری رو طلب می کند که مطلوب نیست.

توابع تعلق به صورت زیر تعریف شده است، که مقیاس آن به وسله سعی و خطا مشخص میشوند، گرچه که توابع تعلق زاویه و تغییرات آن به صورت زیر است، اما برای خروجی چون حساسیت موتورها به توان ورودیشان بالا نیست از توابع دوزنقه ای استفاده شده است.



بعد آزمایش رنج تغییرات زاویه بین  $-5^\circ$  تا  $5^\circ$  (بر حسب درجه نیست بلکه بر حسب خروجی سنسور می باشد) و تغییرات آن بین  $-4.5$  تا  $4.5$  بدست آمد.

توابع تعلقی که در انتها برای خروجی بدست آمد به صورت زیر است:

