پیاده سازی سخت افزاری رگولاتورهای خودتنظیم با حذف اغتشاش در کنترل موقعیت موتورDC

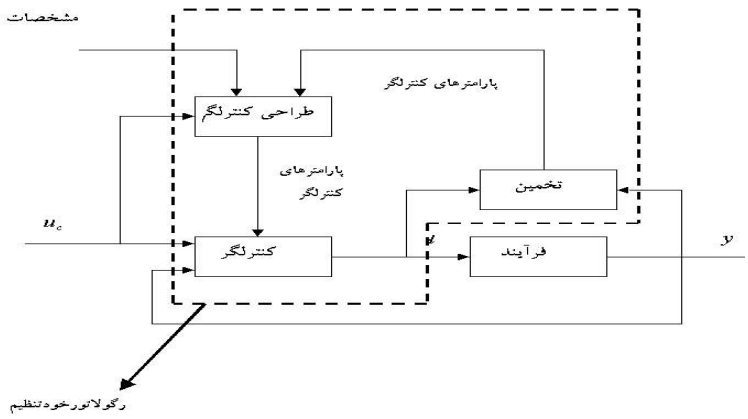
احمد حاجی پور
hajjipoor@yahoo.com

آدرس: سبزوار- دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، گروه برق

کلمات کلیدی: رگولاتورهای خود تنظیم، شناسایی سیستم، الگوریتم حداقل مربعات، معادلات دیوفانتین

۱- مقدمه:

رگولاتورهای خودتنظیم سعی در خودکارکردن تعدادی از کارها دارد. نمودار بلوکی زیر نمودار بلوکی یک فرآیند را همراه با یک رگولاتور خودتنظیم نشان می دهد.



شکل ۱نمودار بلوکی رگولاتور خودتنظیم

در نمودار ۱ فرض می شود که ساختار مدل فرآیند مشخص است و پارامترهای فرآیند تخمین‌زده می شوند. بلوک تخمین، تخمینی از پارامترهای فرآیند را محاسبه می‌کند. بلوک طراحی کنترل‌کننده شامل محاسباتی است که برای طراحی کنترل‌کننده با روشی

مشخص و تعدادی پارامترهای طراحی لازم است. بلوک کنترل‌کننده نوعی پیاده سازی از کنترل‌کننده‌ای با پارامترهای تخمینی است. دلیل اصلی استفاده از کنترل‌کننده تطبیقی، تغییرات پیوستهٔ فرآیند یا محیط اطراف آن است.

الگوریتم STR [1] به دو روش مستقیم و غیر مستقیم قابل انجام است. در روش غیر مستقیم پارامترهای کنترل‌کننده مستقیماً به‌هنگام نشده بلکه بطور غیر مستقیم و از طریق تخمین مدل فرآیند به‌هنگام می شوند. در روش مستقیم پارامترهای کنترل‌کننده مستقیماً قابل تخمین است.ایده اصلی هر دو الگوریتم، شناسایی تعدادی پارامتر وابسته به فرآیند و مشخصات سیستم حلقه بسته است.از آنجا که برای طراحی رگولاتور خود تنظیم احتیاج به شناسایی پارامترهای سیستم می‌باشد، لذا ابتدا باید توسط یک روش شناسایی پارامترهای سیستم شناسایی شده و بعد پارامترهای کنترل کننده بوسیله الگوریتم جایابی قطب محاسبه شوند.

در این مقاله در بخش ۲ شناسایی پارامترهای سیستم بیان گردیده و در بخش ۳ رگولاتور خودتنظیم غیر مستقیم بیان می‌شود. در بخش ۴ و ۵ سخت افزار و نرم‌افزار مورد نیاز برای پیاده سازی کنترل کننده و در پایان نتایج بیان می‌گردند.

۲- شناسایی سیستم

نکته اساسی در کنترل تطبیقی، تعیین بلادرنگ پارامترهای سیستم است. مسائل کلیدی در شناسایی سیستم، عبارتند از انتخاب ساختار مدل ، طراحی آزمایش، تخمین پارامترها و بررسی اعتبار.از آنجا که در سیستمهای تطبیقی شناسایی سیستم به طور خودکار انجام می گیرد، داشتن درک خوب از تمام جنبه های مسئله، ضروری است. موضوع اساسی، انتخاب مدل و پارامتری کردن مسأله می‌باشد. اگر مدل سیستم نسبت به پارامترها، خطی باشد، مسئله شناسایی به میزان زیادی ساده می شود. طراحی آزمایش برای شناسایی موفق آمیز سیستم امری ضروری است.که این به انتخاب سیگنال ورودی وابسته است. در سیستمهای تطبیقی سیگنال ورودی فرآیند به کمک پسخور تولید می‌شود، که باعث بروز مشکلاتی اضافی می‌شود که در بعضی از حالات باعث می‌شود تا پارامترها به صورت یکتا تعیین نشوند، و این امر، نتایج زیان آوری دارد که در برخی از حالات در نظرگرفتن سیگنالهای آشفتگی لازم می‌شود.

در کنترل تطبیقی پارامترهای فرآیند، به طور پیوسته تغییر می‌کنند. لذا لازم است روشهایی را به دست آورد که بطور بازگشتی، پارامترها را به هنگام کند. در حل مسائل شناسایی سیستم، معتبر بودن نتایج بسیار مهم است. این موضوع در سیستمهای تطبیقی، که شناسایی سیستم در آنها به طورخودکار انجام می شود، اهمیت بیشتری دارد.

۲-۱ روش حداقل مربعات[1] شیوه ای اساسی در تخمین پارامترهاست این روش، بخصوص اگر سیستم نسبت به پارامترها خطی باشد بسیار ساده است. در این حالت تخمین حداقل مربعات بطور تحلیلی قابل محاسبه است. با استفاده از الگوریتم حداقل مربعات و روش بازگشتی می‌توان پارامترهای سیستم را به صورت زیر محاسبه کرد.

$$\begin{aligned}
&\hat{\theta}[k] = \hat{\theta}[k-1] + k[k]\left(y[k] - \varphi^T[k]\right)\ P[k-1] \\
&k[k] = P[k]\varphi[k] \\
&P[k] = \left(I - k[k]\varphi^T[k]\right)\ \frac{P[k-1]}{\lambda}
\end{aligned} \qquad (۱)$$

که $\hat{\theta}$ پارامترتخمین زده‌شده، $\varphi^T(k-1) = [-y[k-1]...-y[k-n]\ \ u[k+m-n-1]..u[k-n]]$ است

۲-۲ تخمین پارامترها در سیستمهای دینامیکی

مدل تابع انتقال

1-Self Tuning Regulator
1- Least Squares

از روش حداقل مربعات می توان برای تخمین پارامترها در مدلهای سیستمهای دینامیکی استفاده کرد، اگر سیستم به کمک معادلهٔ زیر توصیف شود:

$$A(z)Y(z) = B(z)U(z) \qquad (۲)$$

$$A(z) = z^n + a_1 z^{n-1} + \ldots a_n, B(z) = b_1 z^{m-1} + b_2 z^{m-2} + \ldots + b_m$$

$$\Rightarrow \; y[k] + a_1 y[k-1] + \ldots + a_n y[k-n] = b_1 u[k+m-n-1] + \ldots + b_m u[k-n]$$

فرض کنید دنباله ورودیهای $\{u[1], u[2], \ldots, u[k]\}$ به سیستم اعمال شده و دنبالهٔ متناظر خروجیهای $\{y[1], y[2], \ldots, y[k]\}$ مشاهده شده باشد. بردار پارامتر

$$\theta^T = [a_1 \quad a_2 \quad \ldots \quad a_n \quad b_1 \quad \ldots \quad b_m]$$

$$\varphi^T(k-1) = [-y[k-1] \quad \ldots \quad -y[k-n] \quad u[k+m-n-1] \quad \ldots \quad u[t-n]] \qquad (۳)$$

$$y[k] = \varphi^T[k-1]\theta$$

با توجه به اینکه تخمین حداقل مربعات ، زمانی بخوبی کار می کند که بتوان اغتشاشها را به صورت نویز سفیدی در نظر گرفت کـه بـه سمت راست معادلهٔ (۳) اضافه شده است و به صورت زیر بیان می شود:

$$A(z)Y(z) = B(z)U(z) + E(z+n) \Rightarrow Y(z) = \frac{B(z)}{A(z)}U(z) + z^n E(z)$$

و یا در حوزه زمان :

$$A(q)y[k] = B(q)u[k] + e[k+n]$$

برای توضیح مطلب فوق فرض کنید که u سیگنال ورودی و $\hat{y}$ سیگنال خروجی اندازه‌گیـری شـده یـک سیـستم بـا رابطـهٔ ورودی-خروجی زیر باشد:

$$\hat{y}[k] + a_1 \hat{y}[k-1] + \ldots + a_n \hat{y}[k-n] = b_1 u[k+m-n-1] + \ldots b_m u[k-n]$$

که در آن $\hat{y}[k] = \frac{B(q)}{A(q)}u[k]$ است. می‌خواهیم پارامترهایی که تابع معیار $\sum_{k=1}^{t}\left(y[k] - \hat{y}[k]\right)^2$ را کمینه می‌کند تعیین نماییم؛ که در این رابطه $y[k] = \hat{y}[k] + e[k]$ است.مسأله فوق یک مسأله حداقل مربعات است که به کمک روبط زیر بدست می آید:

$$\hat{\theta}[k] = \hat{\theta}[k-1] + P[k]\varphi[k]\varepsilon$$
$$\varphi^T[k-1] = \left[-\hat{y}[k-1] \quad \ldots \quad -\hat{y}[k-n] \quad u[k+m-n-1] \quad \ldots \quad u[k-n]\right] \qquad (٤)$$
$$\varepsilon = y[k] - \varphi^T(k-1)\hat{\theta}[k-1]$$

۳- رگولاتورهای خود تنظیم غیر مستقیم

روش غیرمستقیم ترکیبی مستقیم از تخمین حداقل مربعات و طراحی جایابی قطب می باشد. روش حداقل مربعات در بخش شناسایی سیستم توضیح داده شد اکنون روش دوم را طراحی جایابی قطب را توضیح می‌دهیم.

طراحی جایابی قطب *MDPP*[1] :ایده این روش تعیین کنترل‌کننده‌ای است که قطبهای حلقه بسته مطلوب را نتیجه دهد و همچنین سیگنالهای فرمان را به طریق مشخصی تعقیب کند.

مدل فرآیند را به صورت: $A(q)y[k] = B(q)(u[k] + v[k])$ در نظر می‌گیریم که y خروجی فرآیند و u ورودی فرآیند و v سیگنال اغتشاش است، (اغتشاش در ورودی) A و B چندجمله‌ای‌هایی برحسب عملگر انتقال پیشرو q هستند.

درجه $A = n$ ، درجه $B =$ درجه $A - d_0$

d_0 فزونی قطب است و فرض می کنیم که A و B نسبت به هم اول و A تکین باشد.(ضریب بزرگترین توان A برابر واحد است.)شکل عمومی کنترلگر خطی به صورت زیر می باشد.

$$Ru[k] = Tu_c - Sy \qquad (۵)$$

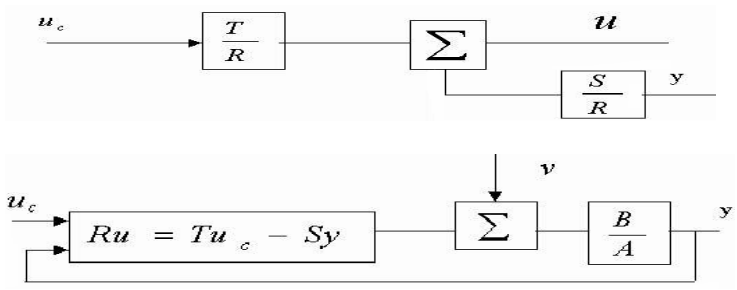
که در آن R ، S ، T چند جمله ای هستند . این قانون کنترل بیانگر پسخوری منفی با عملگر تبدیل $-\frac{S}{R}$ و فید فوروارد با عملگر تبدیل $-\frac{T}{R}$ است. لذا دارای دو درجهٔ آزادی است. از مطالب بالا داریم:

$$y[k] = \frac{BT}{AR+BS}u_c[k] + \frac{BR}{AR+BS}v[k]$$
$$u[k] = \frac{AT}{AR+BS}u_c[k] - \frac{BS}{AR+BS}v[k] \qquad (۶)$$

چندجمله ای مشخصه حلقه بسته برابر

$$AR + BS = A_c \quad \text{(معادلهٔ دیوفانتین)} \qquad (۷)$$

که ایدهٔ کلیدی روش طراحی ، مشخص کردن چندجمله ای حلقه بستهٔ مطلوب A_c است. بعد از آن می توان R, S, T را از معادلهٔ (۷) بدست آورد.

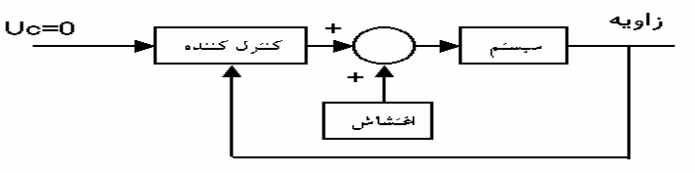


شکل ۲ نمودار بلوکی کنترل‌کننده خطی دو درجه آزادی

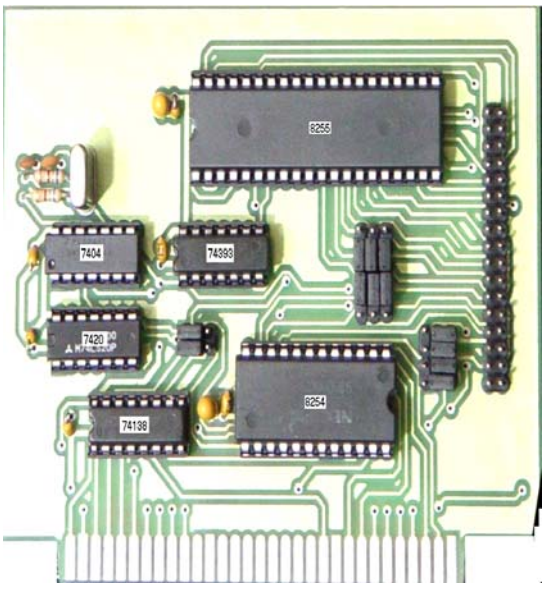
1-Model-following or Pole Placement

۴- سخت افزار

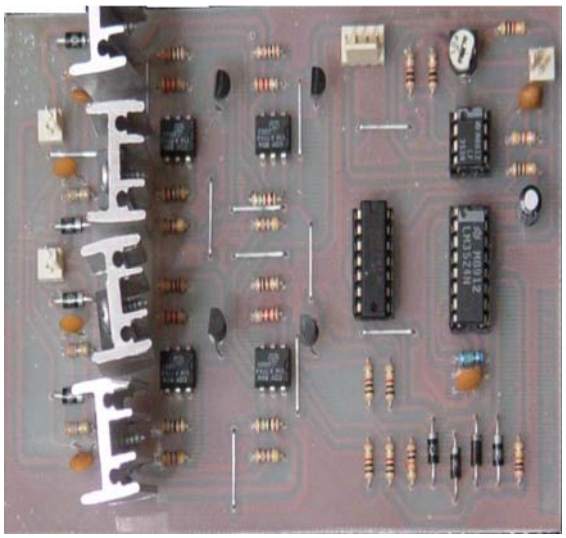
برای انجام فرآیند شناسایی و کنترل از یک کامپیوتر پنتیوم II استفاده شده است . همچنین جهت برقراری ارتباط بین کامپیوتر از یک کارت I/O (متصل به باس ISA) و کارت D/A ، برای تعیین موقعیت موتور DC از یک اینکودر نوری که بوسیله یک شمارنده تعداد پالسها را می‌شمارد استفاده شده و برای کنترل موقعیت موتور از روش PWM استفاده شده است جریان مورد نیاز موتور توسط مدار قدرت آن تأمین می‌شود.



شکل ۳- نمودار بلوکی سیستم همراه کنترل‌کننده



شکل ۴- کارت ورودی- خروجی ، شمارنده، تایمر

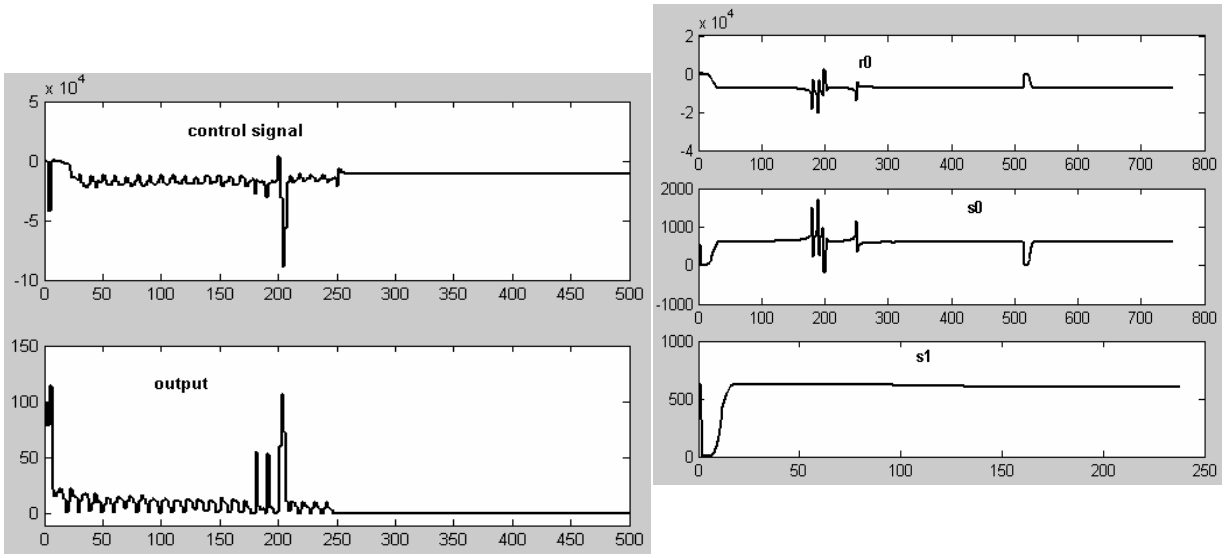


شکل۵- کارت درایور موتور DC

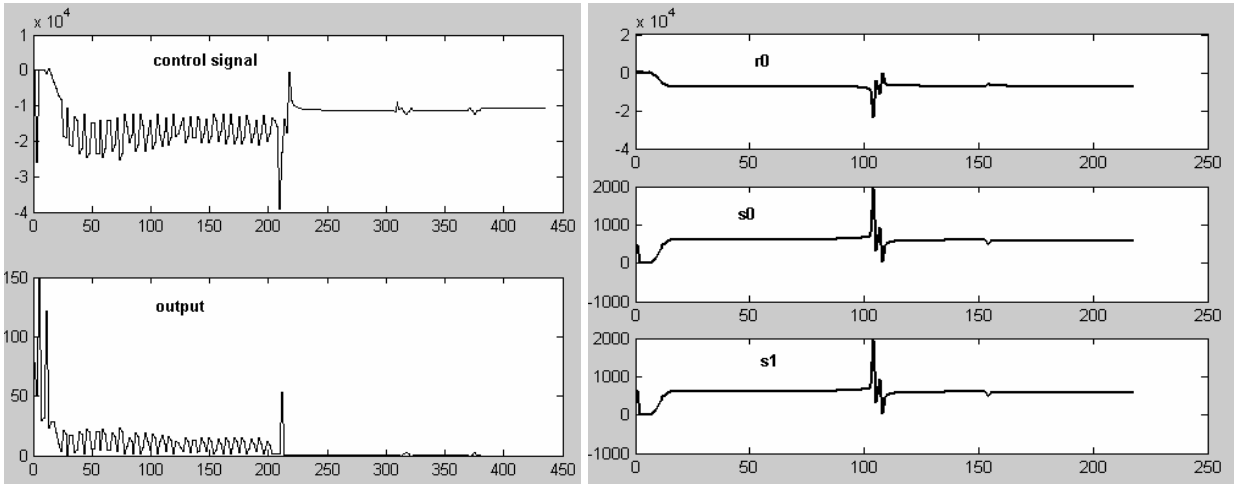
۵-نرم افزار

نرم افزار کنترل به زبان C++ نوشته شده است و جهت برقراری ارتباط با سخت افزار از دستورات inportb,outportb استفاده می‌شود. الگوریتم نرم افزار فوق بدین صورت است که بعد از اینکه اغتشاش به سیستم وارد شد و یا به عبارتی موقعیت موتور عوض شد ابتدا با استفاده از اینکودر نوری جهت چرخش موتور را تشخیص داده و بعد جهت حرکت توسط یک برنامه کنترلی عکس شده و بعد از آن با استفاده از شمارنده و اینکودر تعداد پالسهای را شمرده و الگوریتم کنترلی سعی در صفر کردن و متوقف کردن حرکت موتور می کند. (در وجود اغتشاش). در الگوریتم کنترل ابتدا یک مدل مرتبه ۲ برای سیستم در نظر گرفته می‌شود و بعد با شناسایی هر لحظه پارامترهای مدل به‌هنگام شده و از روی آنها پارامترهای کنترل‌کننده محاسبه می‌گردد و در نهایت سیگنال کنترلی بدست

آمده به موتور اعمال می‌شود.برای اعمال اغتشاش به سیستم از یک سیگنال ژنراتور استفاده شده است که اغتـشاش وارده بـا سـیگنال کنترل در ورودی درایور جمع می‌شود و باعث تغییر موقعیت موتور می‌شود .اغتشاش های وارده موج سیسنوسی بـا دامنـه ۱,۳ ولـت و فرکانس ۴ و۸ هرتز می باشد. نمودارهای مربوط به خروجی کنترل‌شده و سیگنال کنترل و پارامترهای کنترل‌کننده در حضور اغتشاش در زیر آورده شده است.



شکل۶- سیگنال کنترل، خروجی سیستم ، پارامترهای کنترل کننده در حضور موج سینوسی با دامنه ۱,۳ ولت و فرکانس $4Hz$



شکل۷- سیگنال کنترل، خروجی سیستم ، پارامترهای کنترل کننده در حضور موج سینوسی با دامنه ۱,۳ ولت و فرکانس $8Hz$

۶- نتیجه گیری:

در این مقاله سعی شد که رگولاتور خود تنظیم برای حذف اغتشاش در کنترل موقعیت یک موتور DC و سخت‌افزار مورد نیاز برای این امر بیان گردد. از روی نتایج بدست آمده مشخص است که کنترل‌کننده فوق به علت نامعلوم بودن اغتشاش‌ها و عدم قطعیت‌ها در سیستم می‌تواند کنترل‌کننده خوبی برای حذف اغتشاش باشد.

مراجع:

۱- اسلاتهای توسعه و طراحی کارتها؛تألیف شیرزاد شهریاری، مشهد جهاد دانشگاهی

۲- مدارهای واسط؛ محمد علی مزیدی، جانیس گیلیسی مزیدی

۳- کنترل تطبیقی؛ تألیف کارل جان آستروم، یورن ویتن مارک،ترجمه محمد تقی حمیدی بهشتی

4- Sandor M.verse.Derek S.wall."Synergy and Duality of identification and control " Taylor & Francis. London.2000

5- Peter Stoica,Torsten Soderestom" System Identification".PRENTICE Hall,1989

6- Astrom, K.J. and B.Wittenmark ."On Self –Tuning Regulators," Automatica, Vol.9.pp.185-199(1973)

7- Rui-Song Chen and Lin-Ying Lai "Implemention of Direct Self-Tuning Control for a DC Motor System"IEEE,1995