وب سایت تخصصی برق و الکترونیک ECA

عنوان :

کنترل سرعت موتورDC با PLL

استاد مشاور:

دکتر خلیل مافی نژاد

نگارش :

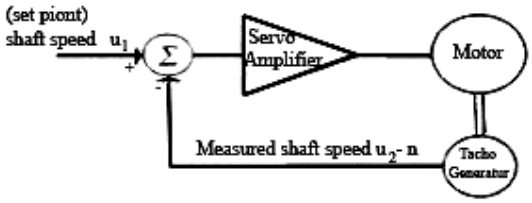
امیر حسین وزیری بابک صابونیها

بهار۸۹

کنترل سرعت موتور :

به وسیله PLL امکان کنترل دقیق سرعت موتور با قیمتی بسیار کم به وجود می آید.

مزایای تکنیک PLL هنگامی آشکار می شود که در ابتدا کنترل سرعت موتور توسط PLL را بـا روش های مرسوم کنترل سرعت موتور مقایسه کنیم. شکل کلاسیک کنترل سرعت موتور در شکل۱-۱ کشیده شده است.



شکل۱-۱: شکل کلاسیک کنترل سرعت موتور

سیگنـال تـنظیم کننده ی سرعت موتور در ایـنجا u_1 است. سرعت شافت مـوتور توسط تاکومتر انـدازه گرفته می شود، سیگنال خروجی آن u_2 متناسب با سرعت موتور n است.

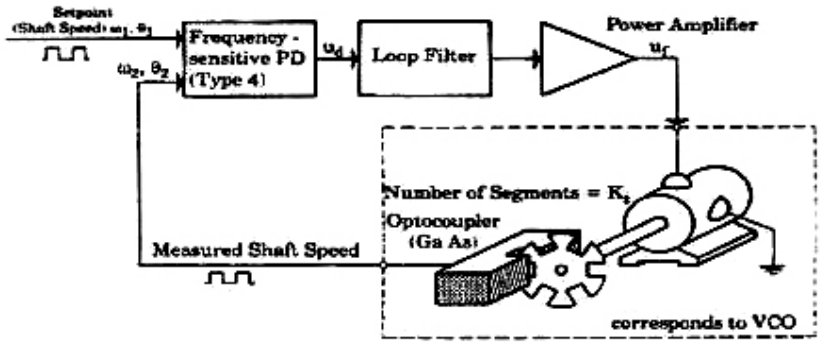
هر گونه اختلافی میان سیگنال حاصله از سرعت واقعی موتور و سیگنال تنظیم کننده سـرعت موتـور بـه وسیله Servo Amplifier تقویت شده و از طریق اعمال این سیگنال اختلافی تقویـت شـده بـه موتـور ، سرعت موتور تنظیم می شود.

بهره ی .Servo Amp همواره زیاد ولی محدود است. برای گرداندن موتـور، سـیگنالِ (error) غیـر صفر باید وجود داشته باشد.

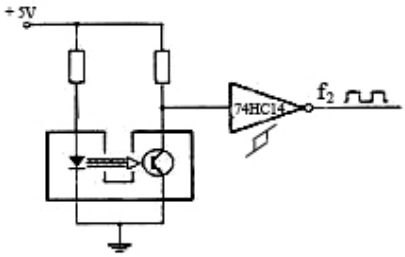
منابعِ error های دیگر ، غیر خطی بودن تاکومتر، انحراف منحنی .Servo Amp هستند .

برگشتی سیگنال توسط تاکومتر به خودی خود نسبتاً به خاطر تاکومتر گران است.

تکنیک PLL راه حل زیبا و قابل انعطاف پذیرتری را عرضه می نماید. شکل ۲-۱ بلاک دیاگرام یک PLL مبتنی بر سیستم کنترل سرعت موتور را نمایش می دهد. سیستم کنترلی فوق PLL است که به جای VCO آن ترکیبی از موتور و تاکومتر نوری قرار گرفته است. سیگنال خروجی تاکومتر بوسیله یک دوشاخه ای که در یک سمت آن یک LED و در سمت دیگر آن یک فوتو ترانزیستور نصب شده است ساخته می شود. پروانه ی موتور بین این فضای خالی قطاع می چرخد و اشعه نوری را که سبب تغذیه ی فوتو ترانزیستور می شود را قطع و وصل می کند.



شکل۲-۱: بلاک دیاگرام یک PLL مبتنی بر سیستم کنترل سرعت موتور



شکل۳-۱: تاکومتر الکترونیکی

ترانزیستور همواره در حالت Switch است و در خروجی آن با استفاده از یک IC

$74HC14$

(اشمیت تریگر) شکل موج مربعی تمیزی ساخته می شود.

سیگنالی که توسط مجموعه ی فوق ساخته می شود فرکانس متناسب با سرعت موتور دارد.

آشکار ساز فاز نیز هم فرکانس های w_2, w_1 و هم فازهای آنها یعنی θ_2, θ_1 را مقایسه می کند.

بنابراین نیاز به آشکار ساز فازی از دسته ی چهارم(PFD) معرفی شده از قبل داریم.

برای آنالیز پایداری سیستم ، تابع تبدیل همه بلاک های شکل ۲-۱ باید شناخته شوند.

تابع تبدیل PFD و فیلتر حلقه شناخته شده اند ولی تابع تبدیل ترکیب موتور و تاکومتر را می بایست بدست آورد.

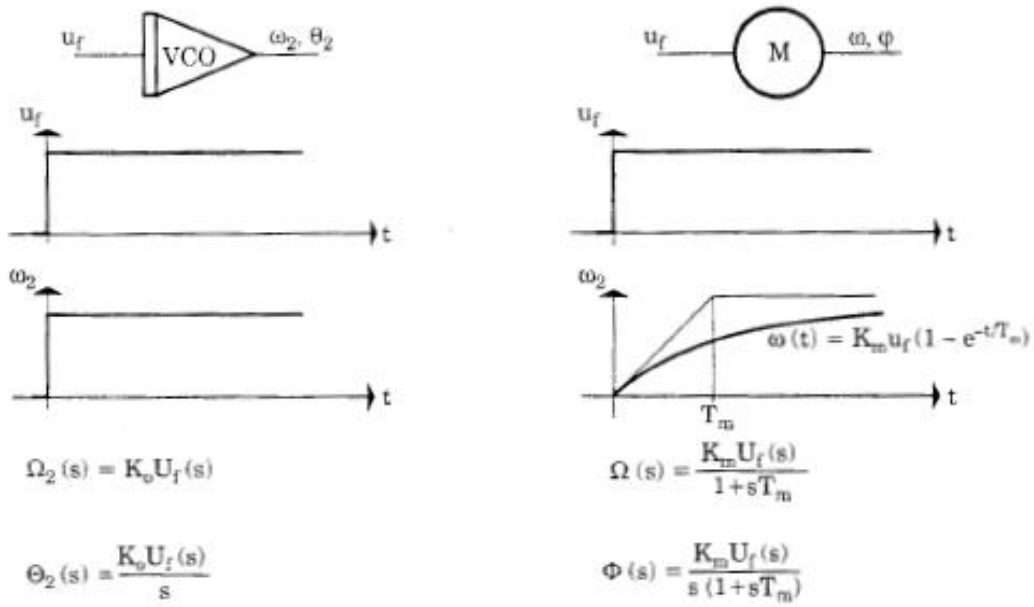
اگر موتور با ولتاژ پله u_f تحریک شود ، سرعت زاویه ای $w(t)$ برابر خواهد بود با:

$$w(t) = k_m u_f [1 - e^{\frac{-t}{T_m}}] \qquad (۱-۱)$$

k_m گین ، T_m ثابت زمانی مکانیکی موتور خواهد بود . پاسخ پله ی موتور در سمت راست شکل۴-۱ کشیده شده است معادله (۱-۱) نشان می دهد که w در ضریبی از u_f بعد از چند وقت قرار می گیرد .

با اعمال تبدیل پلاس به (۱-۱) داریم:

$$\Omega(s) = u_f(s) \times \frac{k_m}{1 + ST_m} \qquad (۱-۲)$$



شکل٤-١: پاسخ پله ی موتور[١]

زاویه ی فاز W موتور ، از انتگرال زمانی سرعت زاویه ای حاصل می شود بنابراین با اعمال تبدیل لاپلاس داریم:

$$\varphi(s) = u_f(s) \times \frac{k_m}{s(1+ST_m)} \qquad (١-٣)$$

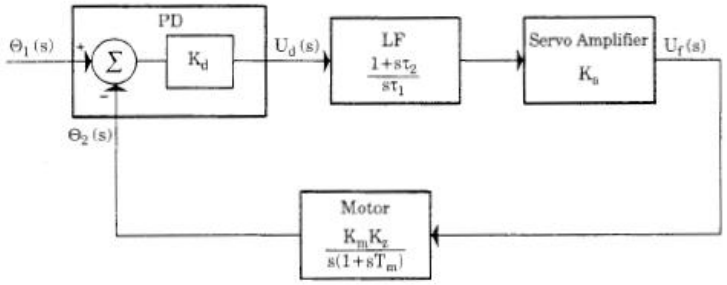
قطاع دیسک نشان داده شده در شکل ٢-١ k_z، دندانه دارد . فاز سیگنال خروجی تاکومتر برابر است با ضرب k_z در زوایه ی فاز φ :

$$\theta_2(s) = \frac{k_m k_z}{S(1+ST_M)} u_f(s) \qquad (١-٤)$$

تابع تبدیل موتور $H_m(s)$ بنابراین :

$$H_m(s) = \frac{k_m k_E}{s(1+sT_m)} \qquad (١-٥)$$

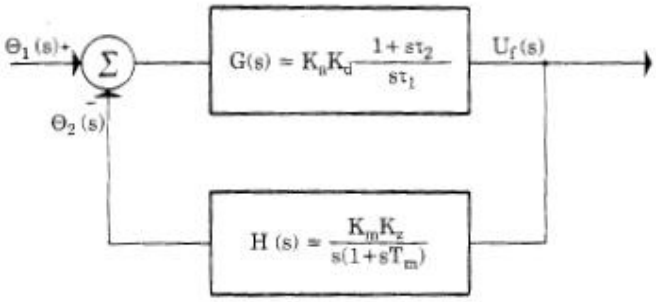
سیستم موتور ظاهراً سیستم مرتبه دوم است در صورتیکه VCO یک سیستم مرتبه اول است. در شکل ٤-١ پاسخ گذرای موتور با یک VCO معمولی با تابع پله مقایسه شده است. سیستم کنترل سرعت موتور شکل٢-١ سیستمی از مرتبه سوم است.



شکل٥-١ مدل ریاضی سیستم کنترل

مدل ریاضی سیستم کنترل می تواند هم اکنون کشیده شود. شکل٥-١ تقویت کننده (Servo Amplifier) یک سیستم مرتبه ی صفر گین k_a است.چون قطب های تقویت کننده ی Servo Amp. بسیار دورتر از قطب های موتور هستند، از قطب های این تقویت کننده در مقابل بقیه ی قطبها می توان صرف نظر کرد. سیستم حلقه باز ٣ قطب دارد. بنابراین فیلتری با یک صفر باید در نظر گرفته شود ، زیرا در غیر این صورت فاز تابع تبدیل حلقه باز در فرکانس های بالا، از 180° متجاوز می شود و سیستم ناپایدار می گردد. فیلتر فعال PI به عنوان فیلتر حلقه انتخاب می شود.

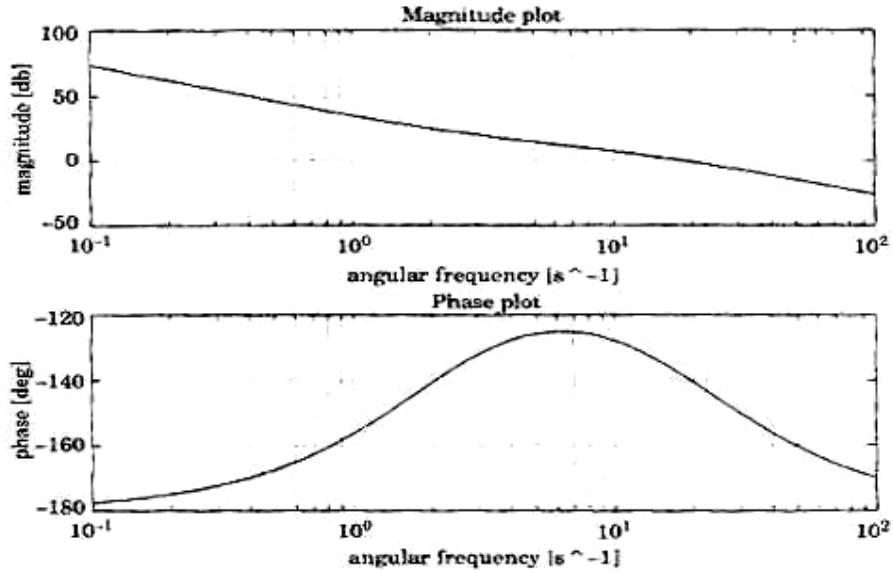
بلوک دیاگرامهای شکل٥-١ می توانند باهم در تعداد کمتری بلوک دیاگرام ترکیب شوند ، و شکل٦-١ حاصل شود.



شکل٦-١

مدل ریاضی سیستم کنترل

www.E وب سایت تخصصی برق



شکل۷-۱: پاسخ فرکانسی

تابع تبدیل مسیر مستقیم با G(s) و تابع تبدیل فیدبک با H(s) نمایش داده می شود.

به هنگام طراحی عملی سیستم کنترل سرعت موتور بعضی از پارامترها در ابتدا داده می شوند مانند پارامترهای موتور T_m, K_m و مقدار دندانه های (k_z) دیسک. پارامترها ی باقیمانده (τ_1, τ_2, k_a) باید برای گرفتن بهترین پاسخ دینامیک و بیشترین پایداری سیستم انتخاب شوند.

راه های زیادی برای حل این سیستم وجود دارد . روش هایی وجود دارد که به طور کلی ریاضی هستند. در مهندسی کنترل راه حلهای عملی تری وجود دارد . برای راحت ترین طراحی، دیاگرام بوده پیشنهاد می شود.

در دیاگرام بوده (فاز و دامنه ی تابع تبدیل حلقه باز رسم می شود.) ازشکل۷-۱ $G_o(s)$ را داریم:

$$G_o(s) = G\ (s).H(s) = k \times \frac{1 + s\tau_2}{s^2(1 + sT_m)} \qquad (۱-٦)$$

$$k = \frac{k_d k_a k_m k_z}{\tau_1} \qquad (۱-۷)$$

در طراحی عملی گین آشکار ساز فاز k_d ، تعداد دندانه ها k_z ، گین موتور k_m ، ثابت زمانی موتور T_m داده می شوند . پارامترهای باقیمانده k_a و دو ثابت زمانی آزدانه انتخاب می شوند.

* طراحی عملی:

فرض کنید $T_m = 0.05s$ و $k_m = 1$

ما از نرم افزار MATLAB - قسمت Toolbox مربـوط بـه Control System- محاسـبات لازم برای کشیدن و بهینه سازی دیاگرام بوده سیستم کنترلی مان استفاده کرده ایم.

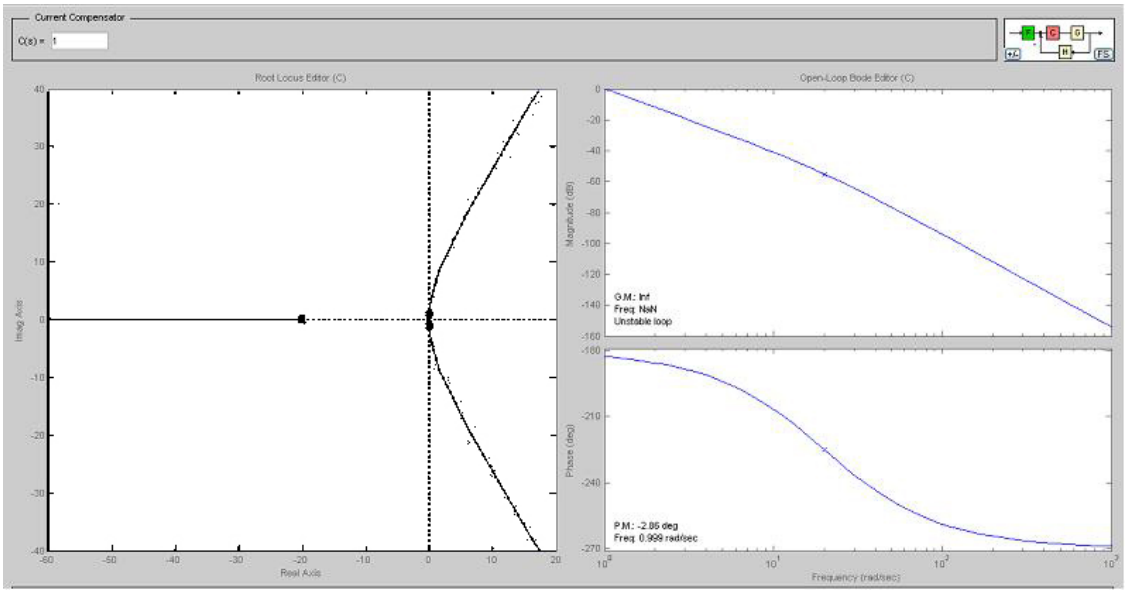
تابع تبدیل حلقه باز سیستم وقتی که از فیلتر با صفر استفاده کنیم عبارتست از:

$$G_o(s) = k_m k_z k_a \times \frac{1+s\tau_2}{s\tau_1} \times \frac{1}{s(1+sT_m)} \qquad (۱-۸)$$

اکنون اگر فرض کنیم فیلتر حلقه ، صفر نداشته باشد می خواهیم ببینیم مکان هندسی ریشه های بـالا بـه چه فرمی تبدیل می شود؟

$$G_o(s) = \frac{k_m k_z . k_a}{\tau_1} \times \frac{1}{s^2(1+S\times 0/05)} = K.\frac{1}{S^2(1+s\times 0/05)} \qquad (۱-۹)$$

مشاهده می کنیم بازای بسیاری از مقادیر گین تابع تبدیل در ناحیه ی سـمت راسـت قـرار مـی گیـرد و سیستم ناپایدار می شود.

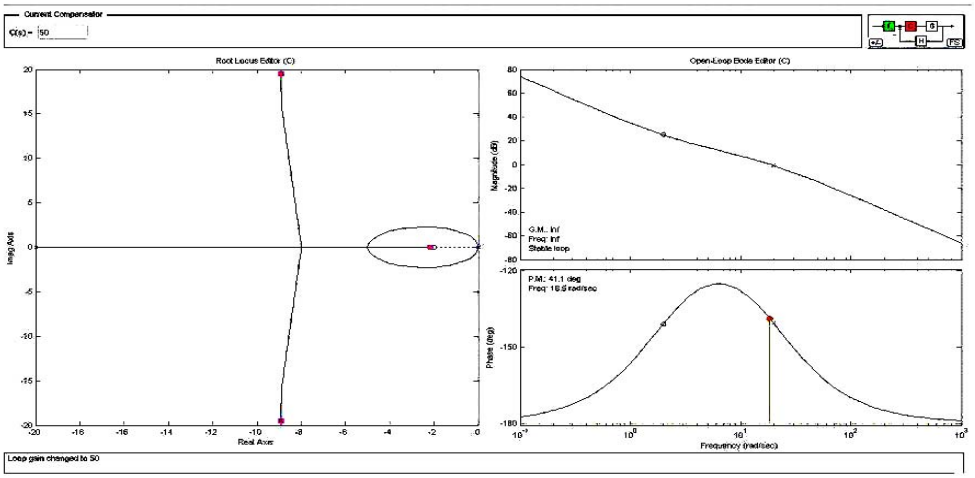


شکل۸-۱ : پاسخ فرکانسی

در نتیجه:

وجود صفر در تابع تبدیل فیلتر این سیستم PLL ضروری است و $F(s)=K_a\frac{1+s\tau_2}{s\tau_1}$ به این سیستمهای کنترلی PI گفته می شود. یعنی فیلتر در این جا ، از لحاظ کنترلی نقش یک جبران ساز را بازی می کند.

در شکل فوق دیده می شود که اگر مکان هندسی ریشه ها به سمت چپ کشیده شود سیستم پایدار می شود (به ازای گین های متفاوت). با اضافه کردن یک صفر در نقطه ی (۲-) شکل زیر را خواهیم داشت:



شکل۹-۱: پاسخ فرکانسی

می بینیم مکان هندسی ریشه ها کاملاً به سمت چپ می آید و بازای همه ی گین ها سیستم پایدار است و $GM=\infty$ با تغییر گین PM سیستم عوض می شود.

همواره PM=۳۰° درجه برای این سیستم کنترلی سرعت موتور در نظر گرفته می شود.

اگر Gain=50 در نظر بگیریم:

$$GM=\infty$$

$$PM = 41/1^{\circ}$$

اکنون

$$\frac{k_m.k_z.k_a}{\tau_1} = 50$$

τ_1, k_a حاصل می شود .

$$\frac{k_z.k_a}{\tau_1} = 50$$

منابع:

Phase locked loops,design simulation and applications by Ronald E.Best ; Mcgraw hill 2003

جزوه‌ی آزمایشگاه کنترل خطی موسسه آموزش عالی سجاد (مشهد)

پایان نامه‌ی کارشناسی "حلقه‌های قفل شده در فاز و کاربردهای آن و ساخت دمدولاتور FSK " به راهنمایی" دکتر مافی

نژاد" انجام شده توسط" امیر حسین وزیری" و "بابک صابونیها" در موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی سجاد(مشهد)