

تحلیل مکان هندسی ریشه‌ها در سیستم‌های دارای تأخیر

1. مقدمه

مکان هندسی ریشه‌ها (Root Locus) یکی از مهمترین ابزارهای تحلیل و طراحی سیستم‌های کنترل است. این روش به ما امکان می‌دهد تا تأثیر تغییر پارامترهای سیستم را بر روی مکان ریشه‌های معادله مشخصه بررسی کنیم. با استفاده از این تحلیل، می‌توان پایداری و پاسخ دینامیکی سیستم را ارزیابی کرده و تنظیمات مناسب برای کنترلر را اعمال کرد.

2. تعریف و اصول اولیه روش Root Locus

روش مکان هندسی ریشه‌ها، محل قرارگیری قطب‌های سیستم را بر حسب تغییرات یک پارامتر مشخص، معمولاً بهره حلقه بسته، نمایش می‌دهد. این روش بر پایه معادله مشخصه سیستم کنترلی تعریف شده و با تغییر پارامتر کنترل‌کننده، نحوه حرکت قطب‌های سیستم در صفحه مختلط را نمایش می‌دهد.

3. تأخیر زمانی در سیستم‌های کنترل و اثرات آن بر پایداری

تأخیر زمانی در بسیاری از سیستم‌های کنترلی وجود دارد و به دلایل مختلفی مانند انتقال اطلاعات، پردازش سیگنال‌ها یا واکنش فیزیکی اجزا ایجاد می‌شود. وجود تأخیر می‌تواند موجب کاهش پایداری سیستم شود، زیرا قطب‌های سیستم را به سمت راست صفحه مختلط جابجا کرده و باعث نوسانات یا ناپایداری می‌شود.

4. روش‌های تحلیل و طراحی سیستم‌های دارای تأخیر با استفاده از Root Locus

در سیستم‌های دارای تأخیر، معادله مشخصه شامل جمله‌های نمایی خواهد بود که حل آن به روش‌های معمول دشوار است. یکی از روش‌های رایج برای تحلیل این سیستم‌ها، تقریب تأخیر با استفاده از سری Padé است که باعث می‌شود مدل سیستم به یک معادله چندجمله‌ای تبدیل شود.

5. تقریب‌های رایج برای مدل‌سازی تأخیر

تقریب Padé یکی از روش‌های متداول برای مدل‌سازی تأخیر زمانی در سیستم‌های کنترل است. در این روش، تابع تأخیر نمایی به یک تابع کسری تقریب زده می‌شود که امکان تحلیل آن با روش‌های کلاسیک فراهم می‌شود.

6. تکنیک‌های جبران‌سازی تأخیر

برای کاهش اثرات منفی تأخیر در سیستم‌های کنترل، روش‌های مختلفی مانند استفاده از پیش‌بینی‌کننده اسمیت (Smith Predictor) و فیدبک پیش‌بینی‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش‌ها به بهبود پاسخ زمانی و افزایش پایداری سیستم کمک می‌کنند.

7. شبیه‌سازی و مثال‌های عملی

برای درک بهتر تأثیر تأخیر در سیستم‌های کنترلی، می‌توان از شبیه‌سازی‌های MATLAB و Simulink استفاده کرد. این شبیه‌سازی‌ها به ما کمک می‌کنند تا نحوه حرکت قطب‌های سیستم را با استفاده از Root Locus بررسی کرده و تأثیر جبران‌کننده‌های مختلف را مشاهده کنیم.