

Kurzfassung der Dissertation

IMC-Regelung nichtlinearer Systeme mit Anwendungen in der Kfz-Technik

von Dieter Schwarzmann

Lehrstuhl für Automatisierungstechnik und Prozessinformatik

Ruhr-Universität Bochum

Die vorliegende Arbeit behandelt Methoden zum Reglerentwurf automobiler Regelstrecken. Der wissenschaftliche Beitrag gliedert sich in zwei Teile. Erstens wird eine Methode zum Entwurf eines nichtlinearen „Internal Model Control“ (IMC) Reglers entwickelt. Zweitens wird der vorgeschlagene nichtlineare IMC Reglerentwurf für zwei Anwendungsbeispiele der Automobilindustrie durchgeführt.

Regelstrecken im Automobil sind im Allgemeinen nichtlinear und stabil und können durch Modelle niedriger Ordnung mit konzentrierten Parametern beschrieben werden. Regler für diese Strecken müssen die begrenzte Rechenkapazität der Steuergeräte berücksichtigen und Einstellparameter vorsehen mit welchen das Verhalten des geschlossenen Regelkreises während eines Prüfstandlaufs oder im Versuchsfahrzeug angepasst werden kann. Diese Anpassung, welche mit „Applikation“ bezeichnet wird, ist integraler und unverzichtbarer Bestandteil des Entwicklungsprozesses in dieser Industrie. Der heute typische Reglerentwurfsprozess ist aufwändig und beruht im Wesentlichen auf Versuch und Irrtum sowohl bei der Wahl der Reglerstruktur als auch bei seiner Parametrierung. Es wird vorgeschlagen, diesen Prozess durch einen IMC Entwurf zu ersetzen. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, eine Reglerapplikation durch Anpassen der Parameter des im Regler befindlichen Modells vorzunehmen anstatt direkt die Reglerparameter zu applizieren. Da der klassische IMC Entwurf auf lineare Systeme beschränkt ist wird in dieser Arbeit ein neuer nichtlinearer IMC Entwurf vorgestellt.

Der IMC für nichtlineare Strecken nutzt die klassische (lineare) IMC Struktur und die klassischen Entwurfsprinzipien sowohl für den Regler mit einem als auch mit zwei Freiheitsgraden. Dadurch erhält der nichtlineare IMC alle typischen Eigenschaften des linearen Gegenstücks. Diese sind im Wesentlichen eine Ausgangsrückführung, robuste Stabilität und verschwindende bleibende Regelabweichung. Der nichtlineare IMC Entwurf basiert auf einem Vorsteuerungsentwurf und nutzt im nichtlinearen Fall den Operator der Rechtsinversen. Da dieser alleine nicht realisierbar ist, wird er mit einem linearen Filter kombiniert so dass die Verknüpfung dieser Operatoren zu einer realisierbaren nicht prädiktiven Vorsteuerung wird. Wird diese Vorsteuerung in der IMC Struktur eingesetzt folgen die oben genannten Eigenschaften. Das Regelungskonzept wird ferner um eine neuartige Behandlung begrenzter Stellgrößen erweitert indem die Eigenschaft des relativen Grades des Modells ausgenutzt wird. Die Grundidee der Stellgrößenbeschränkung ist die (nicht iterative) Wahl einer mit den zulässigen Stellgrößen erreichbaren Ausgangstrajektorie des Modells die dem Sollwert zustrebt. Diese Art der Stellgrößenbeschränkung stellt auch einen wissenschaftlichen Beitrag zu dem klassischen, linearen IMC dar. Ferner führt sie dazu, dass das Durchfahren von Singularitäten des Modells vermieden wird. Singularitäten bedeuten einen Abfall des relativen Grades bzw. den Verlust der Invertierbarkeit. Der vorgeschlagene IMC Entwurf wird detailliert für die Systemklassen der flachen und der ein-/ausgangslinearisierbaren Systeme gezeigt.

Der nichtlineare IMC wird exemplarisch zur Druckregelung turboaufgeladener Motoren genutzt. Dabei werden messbare Störungen berücksichtigt. Die Prüfstandsergebnisse der Ladedruckregelung eines einstufig aufgeladenen Motors zeigen, dass der nichtlineare IMC dem Serienregler bei deutlich kürzerer Applikationszeit überlegen ist. Der in der Arbeit entworfene IMC für den zweistufig aufgeladenen Motor stellt die erste Lösung dieses schwierigen Regelungsproblems dar. Die Strecke ist ein Mehrgrößensystem und sie durchfährt während des Betriebs eine Singularität. Simulationen des geschlossenen Regelkreises zeigen eine hohe Regelgüte trotz angenommener Modellfehler. Ferner wird robuste Stabilität des Regelkreises gezeigt.