

Modellbasierte Regelung eines nichtminimalphasigen Systems am Beispiel des Čuk-Konverters

K. Röbenack, D. Gerbet

TU Dresden, Institut für Regelungs- und Steuerungstheorie, Georg-Schumann-Straße 7A,
Tel: +49(0)351/463 33940, E-Mail: {klaus.roebenack,daniel.gerbet}@tu-dresden.de

Bei der modellbasierten Regelung im engeren Sinne (engl. internal model control, kurz IMC) ist das Modell der Regelstrecke Bestandteil des Reglers [2], siehe Abb. 1. Für stabile Regelstrecken mit linearem Modell ist der Regelentwurf leicht durchführbar und findet in der chemischen Industrie sowie der Verfahrenstechnik Anwendung.

Geht man von einer vollständigen Übereinstimmung zwischen Regelstrecke und Modell ($\Sigma = \hat{\Sigma}$) und der Abwesenheit von Störungen ($d \equiv 0$) aus, dann vereinfacht sich die modellbasierte Regelung zu einer Steuerung mit dem IMC-Regler als Steuereinheit. Daraus lassen sich unmittelbar zwei Schlussfolgerungen ableiten:

1. Der geschlossene Regelkreis ist genau dann stabil, wenn sowohl die Strecke Σ als auch der IMC-Regler Ξ stabil sind.
2. Für eine perfekte Folgeregelung ist der Regler als dynamische Inverse der Strecke zu wählen, also $\Xi = \Sigma^{-1}$.

Auch bei einem stabilen Streckenmodell ist die dynamische Inverse praktisch nie stabil. Bei einem linearen Modell mit rationaler Streckenübertragungsfunktion kann die Instabilität der Inversen zwei Ursachen haben:

1. Ist die Streckenübertragungsfunktion streng proper, dann ist die Inverse nicht proper und damit nicht BIBO-stabil (D-Anteil).
2. Besitzt die Streckenübertragungsfunktion Nullstellen in der rechten Halbebene, dann weist die Inverse Polstellen in der rechten Halbebene auf und ist dadurch instabil.

Das erste Problem (Polstellenüberschuss) kann durch ein Tiefpass-Filter umgangen werden. Das zweite Problem (nichtminimalphasige Strecke) lässt sich durch eine Zerlegung in einen minimalphasigen Teil und einen Allpass vermeiden.

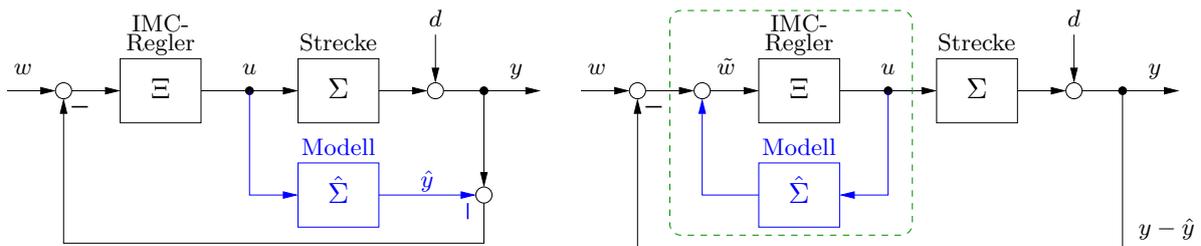


Abbildung 1: Struktur einer modellbasierten Regelung (links), Darstellung als Standardregelkreis (rechts)

Der erste Schritt lässt sich leicht auf nichtlineare Systeme übertragen [8]. Der zweite Schritt ist bei maximalphasigen nichtlinearen Systemen in ähnlicher Weise möglich [3]. Dadurch kann eine modellbasierte Regelung auch bei zahlreichen nichtlinearen Systemen eingesetzt werden [6].

Der Ćuk-Konverter ist ein geschalteter Gleichspannungswandler, mit dem sowohl eine Erhöhung als auch eine Absenkung der Eingangsspannung möglich ist [5]. Für derartige Konverterschaltungen werden in der Fachliteratur zahlreiche Regelungsverfahren beschrieben [1, 4]. Aus dem Netzwerkmodell des Ćuk-Konverters (siehe Abb. 2) leitet man ein nichtlineares Zustandsraummodell ab. Dem Reglerentwurf liegt das gemittelte Modell mit dem Tastverhältnis als Eingang zugrunde. Für die Ausgangsspannung V_2 am Lastwiderstand R erhält man ein nichtminimalphasiges System. Im Vortrag wird ein nichtlinearer modellbasierter Regler vorgestellt [7].

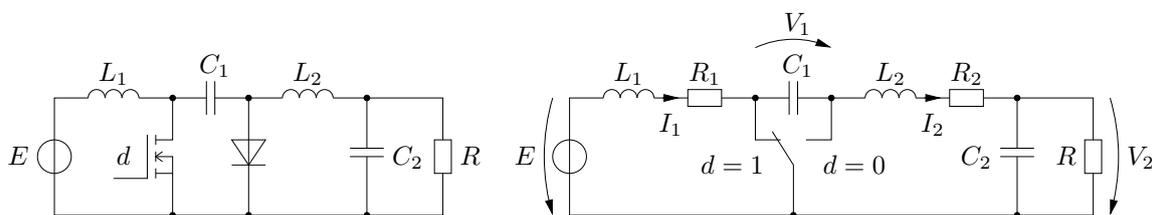


Abbildung 2: Schaltung des Ćuk-Konverters (links), Netzwerkmodell (rechts)

Literatur

- [1] S. Bacha, I. Munteanu, und A. I. Bratcu. *Power Electronic Converters Modeling and Control*. Springer-Verlag, London, 2014.
- [2] C. Brosilow und B. Joseph. *Techniques of Model-Based Control*. Prentice Hall Professional, 2002.
- [3] F. J. Doyle III, F. Allgöwer, und M. Morari. A normal form approach to approximate input-output linearization for maximum phase nonlinear SISO systems. *IEEE Trans. on Automatic Control*, 41(2):305–309, 1996.
- [4] A. Kugi. Regelung eines Ćuk-Konverters. *at – Automatisierungstechnik*, 48(3): 116–123, 2000.
- [5] R. D. Middlebrook und S. Ćuk. A general unified approach to modelling switching-converter power stages. In: *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, S. 18–34, 1976.
- [6] K. Röbenack. *Nichtlineare Regelungssysteme: Theorie und Anwendung der exakten Linearisierung*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2017. ISBN 9783662440902.
- [7] K. Röbenack und D. Gerbet. Internal model control for minimum and maximum phase nonlinear systems. In: *26th Int. Carpathian Control Conference (ICCC)*, 2025.
- [8] D. Schwarzmann. *Nonlinear Internal Model Control with Automotive Applications*. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, 2007.