

**Numerische Stabilisierung einer Regelungsmethode
mittels
Zerlegung nach singulären Werten**

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors
der Technischen Wissenschaften
der
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZUERICH

vorgelegt von
DOMINIK HABERMACHER
Dipl. Elektroingenieur ETH
geboren am 29.1.1950
von Rickenbach (Kt. Luzern)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. M. Mansour, Referent
Prof. Dr. H. Glavitsch, Korreferent

Zürich 1981

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird eine direkte Optimierungsmethode behandelt, wobei das Schwergewicht der Sensitivität einer damit entworfenen Regelung bezüglich Störungen zukommt. Mittels einer numerischen Betrachtungsweise wird die der Regelung eigentümliche Störungsempfindlichkeit analysiert und reduziert.

Die zugrunde liegende direkte Optimierungsmethode für dynamische Systeme mit quadratischer Zielfunktion, fester Endzeit und eventuell vorgegebenen Endwerten führt die Steuerungs- und Regelungsaufgabe auf gut bekannte numerische Probleme zurück. Es zeigt sich, dass die Berechnung der zeitvarianten Regelmatrizen die Lösung von in vielen Fällen schlecht konditionierten Gleichungssystemen erfordert, was bei entsprechenden Störungen ein schlechtes oder gar instabiles Verhalten des Regelkreises zur Folge hat.

Dieses Problem wird mit der besonders geeigneten Methode der Zerlegung nach singulären Werten (Singular Value Decomposition, kurz: SVD) analysiert. Ueberdies kann mit Hilfe der SVD ein schlecht konditioniertes Gleichungssystem der Art modifiziert werden, dass eine wesentlich störungsinsensitivere approximative Lösung des ursprünglichen Problemes resultiert. Man bezeichnet sie als numerisch stabilisierte Lösung. Die im Anhang ausführlich diskutierte SVD und andere kurz skizzierte numerische Stabilisierungsverfahren können in beliebigen Least Squares Problemen angewandt werden. Man kann die untersuchte Regelungsaufgabe daher auch als Beispiel für die Anwendung dieser Methode betrachten.

Die numerisch stabilisierten Regelmatrizen garantieren für eine stark erweiterte Klasse von Störungen ein befriedigendes Verhalten des Regelkreises. Die Effizienz des Verfahrens wird anhand mehrerer Beispiele bestätigt. So wurde unter anderem die Regelung einer Verladebrücke an einem Labormodell implementiert. Eine umfangreiche Simulationsstudie befasst sich mit der Spannungsregelung von einer Synchronmaschine und einem statischen Blindleistungskompensator am starren Netz.

ABSTRACT

In this thesis a direct optimization method is treated. Emphasis is given to the sensitivity of a resulting control with respect to perturbations. A numerical approach is used to analyse and reduce the inherent sensitivity.

The underlying direct optimization method for dynamical systems with quadratic performance index, given final time and eventually prescribed state variable values at the final time reduces the control problem to well known numerical problems. The computation of the time-variant feedback matrices involves the solution of linear equations which turn out to be ill-conditioned in many cases. Thus, perturbations will cause a poor or even unstable behaviour of the plant.

This problem is analysed with a particularly qualified method, the singular value decomposition (SVD). Using SVD, an ill-conditioned system of linear equations may be modified so that a considerably less sensitive approximative solution of the original problem results, denoted the numerically stabilized solution. In the appendix the use of SVD is thoroughly discussed and further numerical stabilization methods are briefly outlined. They can be applied in any least squares problems. Therefore, the investigated control problem may be regarded as an example for the application of this numerical tool.

The numerically stabilized control matrices guarantee a satisfactory performance of the plant for a widely enlarged class of perturbations. Several examples confirm the efficiency of this method. Besides other examples, the control of a bridge crane was implemented on a pendulum system. The voltage control of a synchronous machine and a static reactive power source connected to an infinite bus is treated in an extensive simulation study.