

7. Zusammenfassung

Vorab ein Wort zum Umfang der Arbeit. In meiner früheren beruflichen Praxis in der Instandhaltung und auch während meines Fernstudiums habe ich etwas gelernt :

„Schreibe Dir soviel wie möglich auf, später kann es schwer werden, die einstmals so klaren Schritte nachzuvollziehen !“

Bei all meinen Aufzeichnungen im Beruf und im Studium habe ich mich an diese Devise gehalten, so auch bei der Erarbeitung dieses Dokumentes. Ich versuche alle Schritte so zu beschreiben, daß es mir und allen anderen auch in einigen Jahren noch möglich sein wird, sie zu verstehen.

Dadurch hat der Umfang der Arbeit natürlich das Limit überschritten, welches eigentlich üblich ist. Durch eine tiefgehende Gliederung und umfassende Hilfsmittel (CD-ROM, Schlagwortverzeichnis, Verzeichnis der Abbildungen, ...) habe ich versucht, die Orientierung innerhalb dieses Dokumentes zu erleichtern.

7.1. Der theoretische Ansatz

Ziel dieser Arbeit war es, ein Regelkonzept und die entsprechenden Softwarestrukturen zur Regelung einer hydraulischen Ziehkissenachse zu finden.

Dafür war es zuerst nötig, die Regelstrecke genau zu untersuchen. Das dabei entstandene *Simulationsmodell*, in der Programmiersprache MatLAB erstellt, hat sich bei den Versuchen als realistisch und brauchbar erwiesen. Die dabei entstandenen Modelle sind alle mehrmals geprüft worden.

Da das Modell auf die physikalischen Eigenschaften der Regelstrecke aufbaut, müssen diese auch bekannt sein. Die meisten ergeben sich aus den bauteilspezifischen Eigenschaften der eingesetzten Komponenten (Flächen, Massen, ...). Es gibt aber auch Eigenschaften (Parameter), deren Bestimmung schwierig oder nur mit großem Aufwand möglich ist. Besonders sind das die Komponenten der Stribek-Reibung, etc. Für die experimentelle *Bestimmung des Leckleitwertes* wird in Abschnitt 6.2.3. eine Methode vorgestellt.

Die für den Reglerentwurf angesetzten Modelle zur Lage- und Kraftregelung haben sich als sinnvolle Vereinfachungen erwiesen.

Bei den experimentellen Untersuchungen hat sich weiterhin herausgestellt, daß es auf jeden Fall vorteilhaft ist, in das Streckenmodell eine *Totzeit* einzubauen. Diese Totzeit entsteht durch die diskrete Signalverarbeitung bei Meßwerterfassung, Datenaustausch zwischen den einzelnen Rechnerprogrammen und bei der Stellgrößenausgabe.

Es kann nur eine Summentotzeit ermittelt werden, die am besten in die Modelle zur Meßwerterfassung eingearbeitet wird. Wie auch schon /WEB/ hinweist, sollte mindestens ein Takt Totzeit vorgesehen werden.

7.2. Das Regelungskonzept

Ausgehend von den vereinfachten Streckenmodellen und der Tatsache, daß es sich bei hydraulischen Regelstrecken um hoch nichtlineare Systeme mit zeitvarianten Parameteränderungen handelt, wurde als Regler ein PL-Regler ausgewählt.

Wie die Versuche bestätigen, sind mit einem PL-Regler gleiche Ergebnisse wie mit einem P-Regler erreichbar. Durch den Versuchsaufbau war es nicht möglich, den Einfluß der Öltemperatur und der damit verbundenen Parameteränderungen auf die Regelgüte zu ermitteln. Der Einsatz eines zusätzlichen I-Anteils (nicht strukturoptimal) verbessert die statische Regelabweichung.

Die Versuche zeigen weiterhin, daß mit einer Tastzeit von 15 ms und einer systembedingten Totzeit von 10 .. 35 ms eine vernünftige Regelung, darunter verstehe ich die gezielte Beeinflussung der Übergangsvorgänge, *nicht* möglich ist. Wenn der bestehende Aufbau des Steuerungsrechners mit seiner Firmware erhalten bleibt, dann kann es zu schlechteren Ergebnissen, als mit einem einfachen P-Regler, der „nach Gefühl“ eingestellt wurde, kommen.

Die Versuche haben gezeigt, daß es trotz einer Buszykluszeit (sprich Tastzeit) von 5 ms zu den oben genannten Totzeiten gekommen ist. Die Ursachen scheinen vor allem in der Softwarestruktur zu liegen.

Um nun bei den ermittelten Zeitkonstanten von ca. 8 ms eine sinnvolle Regelung zu ermöglichen, sollte für die Lageregelung eine Tastzeit kleiner 10 ms und auch eine entsprechend niedrige Totzeit vorgesehen werden.

Für eine Kraftregelung sind Tastzeiten im Millisekundenbereich erforderlich. Da in absehbarer Zeit ohne zusätzliche Hardware diese Tastzeiten nicht erreichbar sind, kann festgestellt werden, daß eine Kraftregelung (nicht Kraftsteuerung), nur softwarerealisiert, nicht möglich ist.

Für eine günstige Kraftregelung erweist sich das eingesetzte Propventil als ungünstig. Die Totzone, die durch die positive Überdeckung entsteht, führt zu einer Dauerschwingung im Kraftregelbetrieb.

7.3. Die automatische Inbetriebnahme

Das Konzept der automatischen Inbetriebnahme konnte als Komplex nicht überprüft werden. Die Versuche haben aber gezeigt, daß mit Sprungantwort und Schwingungsversuch bei Kenntnis der Totzeit eine ausreichende Identifikation der Regelstrecke möglich ist. Diese Methoden sind zur Automatisierung der Inbetriebnahme geeignet.

Es hat sich aber auch herausgestellt, daß ohne Vorkenntnisse keine vernünftigen Ergebnisse erzielt werden können. Wichtig ist es, entsprechend dem Anwendungszweck die Streckenverstärkung bei kleinen Sollwertsprüngen (Kleinsignalverhalten für die Lageregelung) oder großen Sollwertsprüngen zu ermitteln.

Für den Schwingungsversuch ist es notwendig, die Anfangsverstärkung nah an die zu erwartende kritische Verstärkung zu legen. Die Ermittlung dieser kritischen Verstärkung erweist sich als Schwachpunkt des Schwingungsversuches.

Das vorgestellte Prinzip der automatischen Inbetriebnahme eignet sich also vorwiegend dafür, die, auf einen größeren Zeitraum gesehenen, Parameterabweichungen zu ermitteln und die Reglerparameter entsprechend nachzustellen.

7.4. Durchführung und Auswertung der Versuche

Für die Durchführung der experimentellen Untersuchungen galt der Satz : „Denn erstens kommt es anders, und zweitens als man denkt !“

Wie im Abschnitt 6.1.5. schon ausführlich beschrieben, waren Untersuchungen an der Kraftregelstrecke nur stark eingeschränkt möglich. Dabei wären gerade die Ergebnisse der Kraftregelung interessant gewesen, da in der Literatur vorwiegend auf die Lageregelung eingegangen wird.

Die Versuche an der Lageregelstrecke haben im wesentlichen die Erwartungen erfüllt. Durch den Einsatz der Maschinensteuerung für die Wegmeßfassung wurde eine zusätzliche Totzeit in das System eingebracht. Das erwies sich aber auch als Vorteil, da nun Untersuchungen für den Einsatz im realen System (Belastungseinrichtung wird vom Steuerungsrechner kontrolliert) möglich waren.

Auch der Einfluß der Öltemperatur (in zwei Tagen gelang uns eine Temperaturerhöhung von 22°C auf 32°C) konnte nicht definitiv nachgewiesen werden.

Da alle aufgenommenen Kurven als DDC- ASCII-Dateien abgespeichert wurden, die Auswertung aber mit MatLAB erfolgte, ist eine umfangreiche Bibliothek an Auswertungshilfsmitteln entstanden, mit denen die ASCII-Dateien von DDC in MatLAB-Programme umgewandelt, dargestellt und ausgewertet werden können.

7.5. Die Software

Die während dieser Arbeit entstandenen Programme, sowohl Turbo-Pascal als auch MatLAB, sind allgemein einsetzbar. Die entsprechenden Quellen gelten als Beispiele, können aber auch sofort angewendet werden.

Zur Simulation mit MatLAB muß ich allerdings sagen, daß ein komplexes Modell mit vielen Nichtlinearitäten bei der gegenwärtigen Mainstream-Rechentechnik schnell an seine Grenzen stößt. Die Simulationsläufe dauerten zwischen 5 und 40 Minuten auf meinem Pentium mit 150 MHz und 64 MB Arbeitsspeicher.

7.6. Schlußwort

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß das hier vorgestellte Konzept unter den realen Bedingungen an dieser Regelstrecke (Belastungseinrichtung) nicht einsetzbar ist. Ursachen, soweit sie erkennbar waren, sind systembedingt.

Beim Projekt „Belastungseinrichtung“ ist der regelungstechnische Blickwinkel völlig außer acht gelassen worden. Eine Regelung im Sinne eines optimierten Übergangs-verhaltens, ist mit diesem Systemaufbau nicht möglich. Der Einsatz eines P-Reglers für die Lageregelung ist hier absolut ausreichend. Soll die statische Regelabweichung verringert werden, kann ein zusätzlicher I-Anteil aufgeschaltet werden. Die Kraftregelung ist ohne zusätzliche Hardware unmöglich.

Sollte es einmal möglich sein, mit schnelleren Tastzeiten zu arbeiten und die Ursachen der Totzeit über mehrere Tastzyklen zu beseitigen, dann kann das vorgestellte Konzept durchaus (zumindest für die Lageregelung) eingesetzt werden. Für langsamere Vorgänge (keine hydraulischen) ist das Konzept natürlich problemlos einsetzbar.

*Steffen Leßke
im Dezember 1997*

8. Thesen zur Diplomarbeit

Thema: **Entwurf und Erprobung der Regelung einer Belastungseinrichtung für Pressen**

1. Das vorgestellte *Simulationsmodell* kann die Regelstrecke bei Kenntnis der physikalischen Parameter *realistisch* darstellen.
2. Schwingungsversuch und Sprungantwort sind *gut zu automatisierende Verfahren* zur Identifikation einer PT_S - oder IT_S -Strecke. Die Totzeit des Systems muß bekannt sein.
3. Schwachpunkt des Schwingungsversuches ist die Ermittlung der kritischen Verstärkung. Die Vorgabe der *Anfangsverstärkung* spielt eine große Rolle.
4. Der Entwurf eines PL-Reglers läßt sich mit wenigen Rechenschritten und einer *geringen Anzahl freier Parameter* durchführen.
5. Für die Implementierung der Steuerungssoftware eignet sich hervorragend die objekt-orientierte Programmierung. Damit können beliebige Reglertypen und -strukturen *während der Programmlaufzeit* gegeneinander ausgetauscht werden.
6. Soll mit dem beschriebenen oder einem ähnlichen Rechnersystem eine Regelung aufgebaut werden, und ist die Tastzeit nicht vernachlässigbar gegenüber der Streckenzeitkonstante, dann sollte immer *mindestens ein Takt Totzeit* angenommen werden.
7. Das beschriebene Rechnersystem besitzt Schwächen in der Signalaufbereitung und der Kommunikation der einzelnen Tasks untereinander. Hier ist die Ursache für die große schwankende Totzeit zu sehen.
8. Bei Beseitigung der genannten Schwächen kann eine Lageregelung für hydraulische Antriebe mit dem verwendeten Rechnersystem möglich werden. Eine Kraftregelung erfordert jedoch so geringe Tastzeiten, daß sie *ohne externe Hardware nicht realisiert* werden kann.
9. Die Kraftregelung mit einem Propventil mit positiver Überdeckung führt zu einer großen Regelabweichung oder zu einer *Dauerschwingung*.

