

9. Zusammenfassung

In den vorhergehenden Kapiteln wurden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, eine hydraulische Verstelleinheit am Netz mit aufgeprägtem Versorgungsdruck sowohl im Drehzahl-, als auch im Drehwinkelregelkreis zu betreiben und dabei das Regelverhalten an sich ändernde Betriebszustände anzupassen. Sprungantworten des Antriebes mit den unterschiedlichen Konzepten für diverse Arbeitspunkte sind im Anhang gezeigt. Aufgrund der mathematisch komplizierten Beschreibung des Übertragungsverhaltens der nichtlinearen Fuzzy-Konzepte bietet die Betrachtung im Zeitbereich die einfachste Möglichkeit, eines objektiven Vergleiches. Neben den Ergebnissen, die erzielt werden, spielen aber auch solche Aspekte wie z.B. der Programmieraufwand, die Rechenintensität oder die Robustheit des Verfahrens eine entscheidende Rolle für dessen Einsatz.

	Echtzeitfähig	Aktiv	Zuverlässigkeit	Programmieraufwand
On-Line Adaption	ja	zu ausgewählten Zeitpunkten	gut	hoch
Fuzzy-Adaption	nein	nach Änderungen	sehr gut	hoch
Fuzzy-Regler	ja	ständig	gut	hoch

Tabelle 9.1: Vergleich der unterschiedlichen Adaptionsverfahren

Die Tabelle 9.1 zeigt eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen getesteten Verfahren.

Für die On-Line Adaption und den Fuzzy-Regler ist festzustellen, daß es sich bei beiden um Echtzeitverfahren handelt, die parallel zum Prozeß ablaufen. Da die On-Line Adaption auf linearen Modellen basiert, ist stets darauf zu achten, daß sie nur zu Zeitpunkten aktiviert wird, zu denen diese Gültigkeit besitzen. Im Gegensatz zu den beiden erstgenannten Verfahren stellt die Fuzzy-Adaption ein an den Prozeß gekoppeltes Verfahren dar, daß erst nach Abschluß eines Ereignisses, meist einer Führungsgrößenänderung, aktiv wird und reagieren kann.

Die Zuverlässigkeit und Robustheit der On-Line Adaption und des Fuzzy-Reglers sind befriedigend und liefern ebensolche Regelergebnisse. Im Gegensatz hierzu hebt sich die Fuzzy-Adaption mit deutlich bessern Ergebnissen hervor.

Hinsichtlich des Programmieraufwandes ist festzustellen, daß zur Realisierung aller vorgestellten Konzepte das Beherrschen einer Hochsprache Voraussetzung ist. Setzt man die Realisierung des eigentlichen Regelalgorithmus, im vorliegenden Beispiel des Zustandsreglers als bekannt voraus, so sind für die On-Line Parameteradaption und die Fuzzy-Bewertung zusätzliche Rechen- bzw. Bewertungsverfahren zu programmieren.

Bei der On-Line Parameteradaption ist dies die Realisierung der Identifikation und des Adaptionalgorithmus, bei der Fuzzy - Bewertung die Programmierung der Fuzzy-Auswertung. Der Aufwand für die Erstellung kann für einen geübten Programmierer als gleichwertig angesehen werden.

Der Einsatz von Fuzzy-Techniken setzt jedoch zusätzlich zur Systemkenntnis das Beherrschen dieser Techniken voraus. Es ist ein Trugschluß, davon auszugehen, daß der Einsatz der Fuzzy-Technik entscheidende Vorteile bei der Realisierung mit sich bringt. Die Programmierung gestaltet sich durch den Einsatz fertiger Fuzzy-Tools zwar einfacher, die Erstellung der Wissensbasen erfordert eine jedoch vergleichsweise umfangreiche Systemkenntnis.

Bild 9.1 zeigt beispielhaft für fünf ausgewählte Arbeitspunkte die Bewertung von Führungsgrößenänderungen der Drehzahlregelung mit Hilfe eines ITSE-Kriteriums. Die erzielten Ergebnisse können als repräsentativ angesehen werden und gelten in ähnlicher Form auch für die restlichen Arbeitspunkte und die Lageregelung. Es ist deutlich ersichtlich, daß mit der Fuzzy-Adaption die besten Ergebnisse erzielt werden. Dies untermauert auch die Behauptung, daß ein konventioneller Regler, sofern er auf einen Betriebspunkt optimiert ist, eine optimale Lösung darstellt.

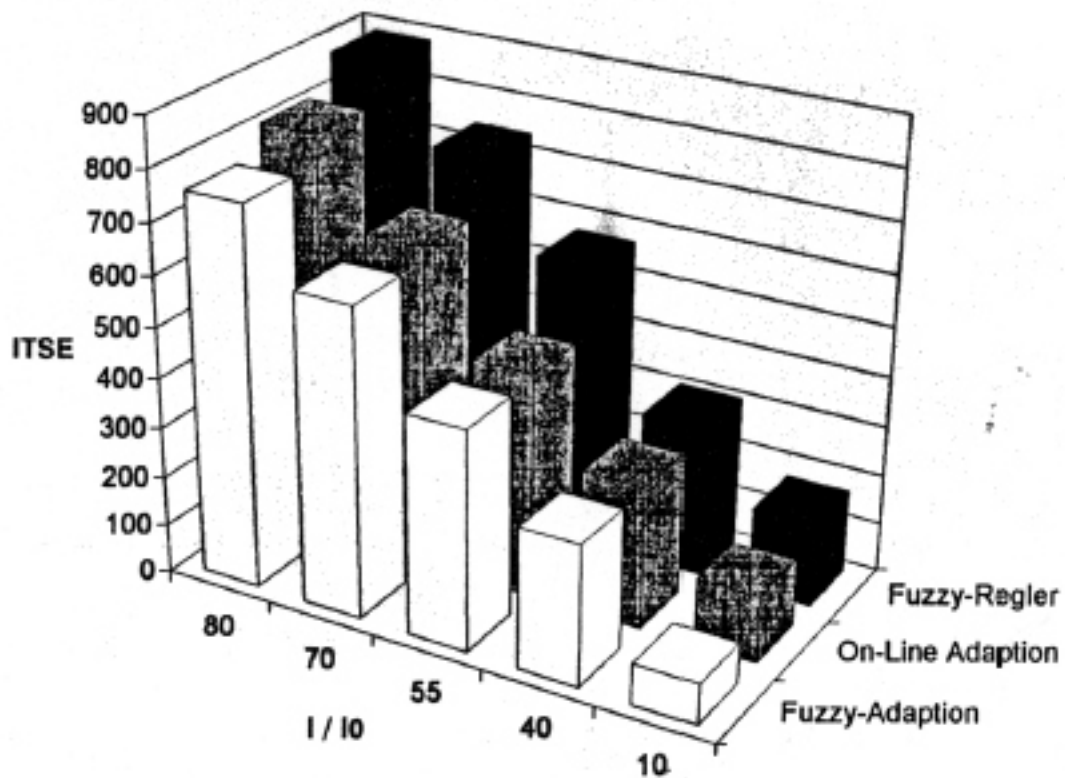


Bild 9.1: ITSE-Bewertung von Drehzahlsprüngen bei einem Systemdruck von 210 bar

Prinzipiell müßten sowohl der Fuzzy adaptierte, als auch der On-Line adaptierte Zustandsregler gleiche Ergebnisse liefern, da beide auf dem selben Reglerkern basieren. Es sind jedoch qualitative Unterschiede festzustellen, da die Vorgaben der On-Line Adaption starr sind, d.h. jedem Betriebspunkt wird eindeutig eine Reglereinstellung zugeordnet. Die Fuzzy-Adaption bewertet dagegen das Antriebsverhalten ohne Informationen über den jeweiligen Arbeitspunkt und reagiert auch auf Veränderungen, die im On-Line Modell nicht berücksichtigt sind (z.B. Temperatur und Verschleiß).

Betrachtet man abschließend die verschiedenen Strategien zur Regelung der Drehzahl bzw. Lage einer sekundärgeregelten Verstelleinheit am Netz mit aufgeprägtem Versorgungsdruck, so kann festgestellt werden, daß sowohl der dreischleifige Zustandsregler, als auch der reine Fuzzy-Regler qualitativ bessere Ergebnisse liefern als der konventionelle PDT1-Regler.

Es wurde gezeigt, daß der dreischleifige Zustandsregler mit Abstand die besten Ergebnisse liefert, sofern er auf den jeweiligen Arbeitspunkt optimiert ist. Um dies zu realisieren, wurden zwei Möglichkeiten vorgestellt. Zum einen eine auf einer Identifikation mit einem RLS-Verfahren basierende Echtzeit-Parameteradaption, zum anderen eine mit Hilfe einer Fuzzy-Bewertung des Antriebszu-

standes durchgeführte On-Line Adaption. Beide Verfahren führen unter Nutzung der entwickelten Adaptionstrategien zu guten Ergebnissen. Dem Vorteil der schnellen Reaktion der Adaption mit Identifikation ist die mangelnde Robustheit entgegenzusetzen. Diese ist durch die stets aktive Fuzzy-Optimierung gegeben, die jedoch mehrere Führungsgrößenänderungen benötigt, um mittels iterativem Einstellens zu einem sicheren Ergebnis zu gelangen. Für praktische Anwendungen ist sicherlich ein Kompromiß zwischen der schnellen Reaktion aber manchmal vorliegenden Ungenauigkeit der On-Line Adaption und der mehrere Führungsgrößenänderungen benötigenden präzisen Fuzzy-Adaption einzugehen.

Der Fuzzy-Regler umgeht die Nachteile der beiden Verfahren. Es ist jedoch anzumerken, das seine Realisierung nicht mehr trivial ist. Hier sind aufbauend auf das gezeigte Regelwerk noch Verbesserungen denkbar.

Eine optimale Lösung stellt sicherlich die Kombination der verschiedenen Techniken dar. Geht man vom dreischleifigen Zustandsregler aus, so kann durch ein die Fuzzy-Logik nutzendes Identifikations- und Adaptionskonzept eine optimierte Regelung erzielt werden. Zukünftige Rechnerentwicklungen werden auch die Realisierung von Fuzzy-Reglern mit einer größeren Anzahl an logischen Verknüpfungen ermöglichen. Das hier vorgestellte Fuzzy-Regelwerk war an der Leistungsgrenze der eingesetzten Rechnerhardware angelangt.

Der Optimierung der Laststeifigkeit des Antriebs wurde hier wenig Beachtung geschenkt. Bei der Erstellung zukünftiger Konzepte muß aber auch diesem Punkt vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden. Kombiniert man die in /K4/ gezeigten Reglerstrukturen zweier entkoppelter, sekundärgeregelter Einheiten mit den hier vorgestellten Vorschlägen für die Regelungen der Einzelkomponenten, so sind auch in diesen Bereichen Verbesserungen zu erwarten.