

## Experimentelle Filtereinstellung für Lageregler mit unterlagertem Drehzahlregler

Die nachfolgende Beschreibung gilt für die Karten APCI-8001 und APCI-8008.

**Diese Anleitung ist nur gültig für Antriebssysteme mit Servo-Drehzahlreglern. Bei anderen Antriebssystemen, wie z.B. stromgesteuerten Systemen oder Schrittmotorsystemen, kann diese Vorgehensweise nicht verwendet werden.**

Die Einstellungen erfolgen im Programm mcfg.exe. Zur Überprüfung des Systemverhaltens wird ein „Graphic Analysis“-Fenster benötigt. Einstellungen und Verfahrkommandos werden in einem „Motion Tools“-Fenster gemacht. Zur Positionsanzeige kann außerdem ein „Axis Status“-Fenster hilfreich sein. Vor Beginn der Untersuchung muss bei den verwendeten Fenstern die richtige Achse ausgewählt werden. Für das residente Speichern der ermittelten Reglerparameter ist das Fenster „System Data“ zu verwenden. Zum Speichern in diesem Fenster braucht die jeweilige Achse nicht ausgewählt zu werden, weil immer die Parameter aller Achsen gespeichert werden.

Die angezeigten Filterparameter auf der Registerkarte „Digital Filter“ im Fenster „Motion Tools“ sind temporäre Werte. Bei Bedarf können diese über die Schaltfläche „Load Data from System“ aus der „System Data“-Maske geholt werden. Vor dem Speichern der hier ermittelten Werte müssen diese temporären Werte über die Schaltfläche „Update System Data“ in die „System Data“-Maske übertragen werden. Änderungen, die auf der Registerkarte „Digital Filter“ im Fenster „Motion Tools“ gemacht werden, werden im Lageregler erst wirksam, wenn auf die Schaltfläche „Update Filter“ geklickt wurde. Dies darf vor der Überprüfung des Verhaltens neuer Einstellwerte nicht vergessen werden.

### Standard-Regler

Bei Verwendung eines Drehzahlreglers sind folgende Filterparameter einzustellen:  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $k_{fcv}$ . Alle anderen Parameter bleiben auf 0. Lediglich bei schlecht gedämpften Systemen kann die Einstellung mit Hilfe von  $K_d$  verbessert werden. Bei dieser Anleitung wird vorausgesetzt, dass der Anwender mit den Menüs und Begriffen des Programms mcfg unter Win32 vertraut ist. Die Vorgehensweise zum Übernehmen geänderter Filterparameter (Update Filter) und zum Starten und Zurückfahren von Trapez-Profilen sowie die Anzeige der Verfahrbewegung in einem Grafikfenster muss bekannt sein.

**Des Weiteren wird vorausgesetzt, dass der Anwender sich bewusst ist, dass die Achsen zum Teil ungergelt verfahren werden und es jederzeit möglich ist, dass z.B. durch eine Falscheingabe unerwartete Verfahrbewegungen durchgeführt werden. Deshalb muss gewährleistet sein, dass der entsprechende Motor frei drehen kann oder dass jederzeit ein Stopp per Not-Aus-Abschaltung oder sonstige Vorrichtungen gewährleistet ist.**

### Vorabereinstellungen

Zunächst wird eine Verfahrbewegung im Open-Loop aufgezeichnet. Hierbei muss überprüft werden, ob die Drehrichtung stimmt (positive Ausgabewerte müssen positive Zählrichtung bewirken) und ob das Einschwingverhalten des Drehzahlreglers einem ordnungsgemäßen System entspricht (in etwa e-Funktion beim Einschwingverhalten der Ist-Drehzahl). Gegebenenfalls muss zunächst der Drehzahlregler richtig eingestellt werden. Ansonsten ist die Einstellung des überlagerten Lagereglers nur bedingt möglich.

## Einstellung von $K_p$

Die Achse wird mit einem Trapez-Drehzahl-Profil mit geeigneten Beschleunigungsrampen und mit geeigneter Maximalgeschwindigkeit verfahren. Der Verfahrweg sollte so groß sein, dass für Beschleunigungsbereich, linearen Verfahrbereich und Bremsbereich jeweils ca. 1/3 der Verfahrzeit benötigt wird. Nun wird der Proportionalitätsfaktor  $K_p$  experimentell ermittelt: mit kleinen Werten (ca. 0,1) beginnend, bis der Ist-Wert dem Soll-Wert bestmöglich nachfolgt, ohne dass jedoch Stabilitätsverschlechterungen sichtbar sind. Realistische Werte liegen zwischen 0,1 und 10. Der so gefundene Wert für  $K_p$  wird notiert.

## Einstellung von $k_{fcv}$

Danach wird  $K_p$  wieder auf 0 gesetzt und der Geschwindigkeitsvorsteuerkoeffizient  $k_{fcv}$  wird auf ähnliche Weise wie  $K_p$  ermittelt. Hier wird jedoch mit dem Wert 1 begonnen. Realistische Werte liegen hier ca. zwischen 10 und 200. Dieser Parameter wird so abgeglichen, dass die Maximalgeschwindigkeit beim Soll- und Ist-Wertverlauf auf gleichem Niveau liegt. Der gefundene Wert wird notiert.

**Achtung:** Bei dieser Einstellung wird das System nur gesteuert betrieben, d.h., es wird ein Drehzahl-Sollwert ausgegeben, der dem Soll-Drehzahlverlauf proportional ist (Trapezverlauf). Hier zeigt sich in manchen Fällen ein Überschwingen, besonders nach dem Ende der Beschleunigungs- und der Bremsphase. Weiterhin sind durch ungünstig gewählte Faktoren unerwartet große oder schnelle Verfahrbewegungen möglich. Das System darf außerdem nicht unbeaufsichtigt in diesem Zustand verbleiben, da die Achsen ansonsten wegdriften und Schaden anrichten können.

Nach der Ermittlung von  $k_{fcv}$  sollte zunächst der Regelkreis geöffnet werden, um sprungartige Verfahrbewegungen durch Reaktivierung des Proportionalreglers zu vermeiden.

## Gemeinsame Einstellung von $K_p$ und $k_{fcv}$

Nun werden bei  $K_p$  und  $k_{fcv}$  die notierten Werte eingetragen. Wenn nun verfahren wird, sollte die Achse stabil sein. Der Ist-Geschwindigkeitsverlauf sollte dem Soll-Geschwindigkeitsverlauf ohne nennenswerten Versatz folgen. Lediglich am Ende von Beschleunigungs- und Bremsrampe sind gegebenenfalls Überschwinger bzw. Einschwingvorgänge sichtbar. Im Allgemeinen muss der Wert von  $K_p$  an dieser Stelle noch etwas nach unten korrigiert werden, um das Regelverhalten zu verbessern bzw. um ein Optimum zu finden. Optimum heißt jedoch nicht, dass der Überschwinger verschwunden ist.

## Optionalen D-Anteil

Falls das Einschwingverhalten nicht ohne Überschwinger einstellbar ist, kann dieser in vielen Fällen durch Hinzufügen eines D-Anteils ( $K_d$ ) eliminiert werden. Wenn dieser Wert gefunden wurde, kann  $K_p$  normalerweise noch weiter erhöht werden. Realistische Werte liegen hier zwischen 0,001 und 1.

Zur experimentellen Einstellung ermittelt man zunächst  $K_p$  und  $k_{fcv}$ , wie in dieser Application Note beschrieben, und stellt diese so ein, dass der Zielpunkt mit einem Überschwinger erreicht wird (Position und/oder Geschwindigkeit). Danach fügt man per  $K_d$  einen D-Anteil hinzu. Es wird mit einem kleinen Wert, z.B. 0,001, begonnen. Dieser wird nun sukzessive verdoppelt und dabei wird das Regelverhalten beobachtet. Der richtige Wert ist gefunden, wenn der Überschwinger minimiert ist.

**Achtung:** Bei einem beliebigen Wert kann der Lageregelkreis nur durch geringfügige Erhöhung instabil werden.

Wenn ein geeigneter Wert gefunden wurde, kann im Allgemeinen auch  $K_p$  weiter erhöht werden und somit die Steifigkeit des Regelkreises.

## Einstellung von Ki

Zur Kompensation des Eingang-Offsets des Drehzahlreglers kann ein I-Anteil hinzugefügt werden. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn in der Lageregelung die Positioniergenauigkeit nicht ausreicht. Hier ist zu beachten, dass sich diese durch Temperatur- und Langzeiteffekte verändern kann. Wenn nach Verfahrensprofilen keine Regelabweichung sichtbar ist, kann der I-Anteil normalerweise auf dem Wert 0 bleiben.

Ki muss ebenfalls experimentell bestimmt werden. Realistische Werte liegen zwischen 0,1 und 100. Dieser Wert wird langsam erhöht. Stabilität und Einschwingverhalten dürfen sich nicht verschlechtern.

## Der Filterparameter kpl

Der Wert von kpl kann in den meisten Fällen auf 0 gelassen werden und hat somit keine Auswirkung. Bei Bedarf können jedoch mit diesem Wert zwei unterschiedliche Regleroptionen aktiviert werden. Welche dieser Optionen aktiviert wird, wird mit dem Vorzeichen des Werts festgelegt.

## Positive Werte in kpl

Bei positiven Werten in kpl hat dieser Wert die Bedeutung einer Verzögerungszeit-Konstanten für einen realen D-Anteil. Insbesondere bei kleinen Abtastzeiten und hoher Reglerhärte kann es leicht sein, dass die Reglerstellgröße in die Übersteuerung gerät und der Regler somit nichtlineares Verhalten zeigt. Mit dieser Zeitkonstanten wird die Dauer einer D-Sprungantwort zwar verlängert, dafür aber die Amplitude verkleinert. Die Einheit von kpl ist Sekunden. Realistische Werte liegen zwischen 0,0002 und 0,01 s.

## Negative Werte in kpl

Bei negativen Werten in kpl hat dieser Wert die Bedeutung einer Verzögerungszeit-Konstanten im Stellgrößenkanal. Damit kann in vielen Fällen ein Überschwingen beim Einfahren in die Zielposition vermindert oder ganz unterdrückt werden. Insbesondere hart eingestellte Antriebssysteme neigen zum Überschwingen; auch dann, wenn die Vorsteuerung optimal eingestellt ist. Die Überschwingungsfreiheit wird allerdings durch eine Zeitverschiebung zwischen Ist- und Sollwertsignal „erkauft“. Die Einheit von kpl ist Sekunden. Realistische Werte liegen zwischen -0,0002 und -0,01 s.

## Änderung der Abtastzeit

Falls die Abtastzeit eines Systems geändert werden soll, hat dies Einfluss auf den Geschwindigkeitsvorsteuerkoeffizienten kfcv. Falls dieser nicht neu experimentell ermittelt werden soll, kann er auch berechnet werden.

Der Wert von kfcv ist im gleichen Verhältnis zu verkleinern bzw. zu erhöhen wie die Abtastzeit erhöht bzw. vermindert wird. Wird zum Beispiel die Abtastzeit halbiert, so ist kfcv zu verdoppeln.

Der Beschleunigungsvorsteuerkoeffizient ist gegebenenfalls auch anzupassen, allerdings mit dem Quadrat des Verhältnisses. Die anderen Filterparameter können im Allgemeinen erhalten bleiben.

## Übernahme der Werte in die Datei SYSTEM.DAT

Nachdem die optimalen Einstellungen gefunden sind, müssen die gefundenen Werte gespeichert werden. Hierzu ist zunächst die Schaltfläche „Update System Data“ anzuklicken. Dadurch werden die Werte in das Fenster „System Data“ übernommen. Dieses Fenster muss danach geöffnet werden (z.B. mit Strg+S), um dann mit einem Klick auf das Diskettensymbol zu speichern. Die Werte werden dabei in SYSTEM.DAT gespeichert und stehen somit bei der nächsten Session oder der Applikation zur Verfügung.