

Automatische Reglereinstellung für elektrische Antriebe

Eine perfekte Regelung von Strom, Geschwindigkeit und Position wird in einer modernen Positioniersteuerung als selbstverständlich vorausgesetzt. Die dazu notwendige optimale Einstellung aller Reglerparameter und Vorsteuerwerte ist jedoch keineswegs trivial. Ein intelligentes und automatisches Einstellverfahren löst diese komplexe Aufgabe.

Heute wird von einem Servoverstärker nicht nur die optimale Lösung der Antriebsaufgabe sowie die schnelle und präzise Antriebsregelung erwartet, sondern dazu auch benutzerfreundliche, für den jeweiligen Anwendungsfall passende Funktionen für Bedienung, Konfiguration und Diagnose. Dazu bieten die maxon EPOS2 Positioniersteuerungen (EPOS; **E**asy to use **P**ositioning **S**ystem) viele Komfortfunktionen für die schnelle und einfache Inbetriebnahme des Antriebs. Ein Hauptaugenmerk liegt dabei auf elektronischen Hilfsmitteln, die den Benutzer von der mühsamen und oft langwierigen Einstellung der Regler entlastet. Der Benutzer wird dazu für die Inbetriebnahme durch ein Menü geführt. Zur Ermittlung aller notwendigen Reglerparameter wird das in diesem Bericht näher beschriebene, ausserordentlich wirksame automatische Einstellverfahren («Auto Tuning») durchlaufen. Mit diesem Verfahren werden alle benötigten Parameter des Stromreglers, des Drehzahlreglers und des Positionsreglers, sowie eventuelle Vorsteuerwerte («Feed Forward») automatisch und optimal ermittelt.

Die digitalen EPOS2 Positioniersteuerungen von maxon motor eignen sich für DC- und EC-Motoren mit Inkrementalencoder. EC-Motor ist eine Bezeichnung für bürstenlose Gleichstrommotoren, oft auch BLDC-Motor genannt. Die EPOS2 Steuerungen sind in unterschiedlichen Baugrössen für Motoren mit einer Nennleistung von 1 bis etwa 700 Watt verfügbar. Verschiedene Betriebsmodi, so zum Beispiel «Profile Position Mode», «Profile Velocity Mode», «Current Mode», ermöglichen ein breites Anwendungsfeld in verschiedensten Geräten, Maschinen und Industrieanlagen. Mehrere dieser Steuerungen können durch die weitverbreitete Kommunikationsschnittstelle CAN (CANopen nach CiA 402) zu Antriebs-Netzwerken verkoppelt werden.

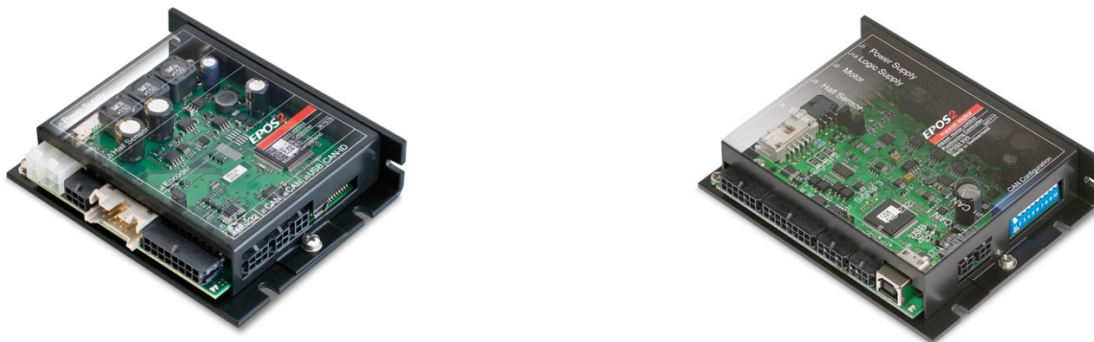


Abbildung 1 EPOS2 Steuerungen: EPOS2 24/5 (links), EPOS2 50/5 (rechts)

Reglerstrukturen

Die EPOS2 Produktreihe erlaubt die Konfiguration von drei verschiedenen Reglertypen: Stromregler, Drehzahlregler, Positionsregler.

Stromregler

Der Stromregler ist dafür konzipiert, den Motorstrom schnell gegen dem Widerstand der Motorinduktivität einzuprägen und damit das gewünschte Drehmoment des Motors aufzubauen. Mit dem Stromregler werden ausserdem äussere Störgrössen, wie beispielsweise Schwankungen in der Versorgungsspannung ausgeregelt. Damit erhält man die völlige Kontrolle über den Motorstrom, unabhängig von Motoreigen-

schaften und Versorgungsspannung. Neben einer Verbesserung der Dynamik können damit auch die Stromgrenzen, beziehungsweise die Drehmomentgrenzen, zuverlässig eingehalten werden.

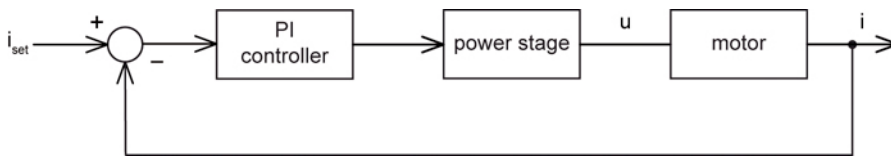


Abbildung 2 Stromregel-Struktur

Drehzahlregler

Der Drehzahlregler mit unterlagertem Stromregler wird benutzt, um Änderungen der gewünschten Drehzahl schnell folgen zu können. Ebenso können Störgrößen, wie beispielsweise Änderungen im Lastmoment, kompensiert werden. Zum Einsatz kommen Drehzahlregler mit unterlagertem Stromregler bei einer Vielzahl von Anwendungen, wie beispielsweise bei Pumpen, Zentrifugen, Transportsystemen, Förderanlagen, Wickelmaschinen, etc.

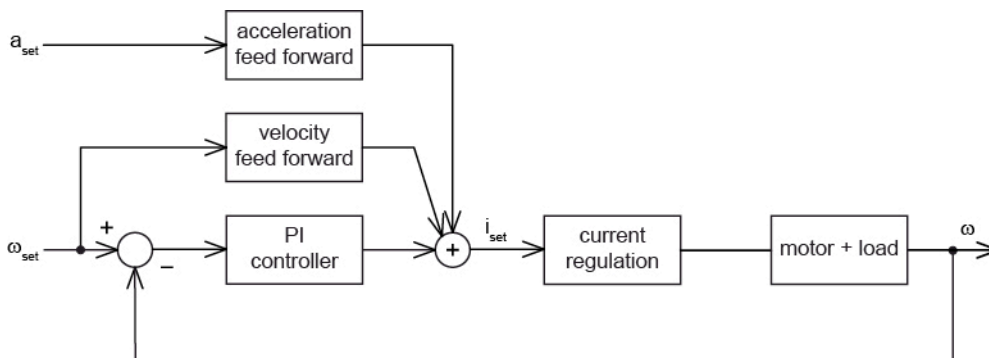


Abbildung 3 Drehzahlregel-Struktur

Positionsregler

Für hochdynamische und präzise Positioniervorgänge wird der Positionsregler mit unterlagertem Stromregler verwendet. Hiermit kann bei Positionieraufgaben der gewünschte Positionswert unter Einhaltung von vorgegebenen Beschleunigungs- und Bremsverläufen und maximalen Geschwindigkeiten schnell und sicher erreicht werden.

Typische Einsatzmöglichkeiten finden sich in der Automatisierungstechnik, beispielsweise bei der Steuerung von Robotern oder zum Positionieren eines Werkstückes unter einem Fräskopf.

Die Strom- beziehungsweise Drehzahlregler sind in der EPOS2 jeweils als PI-Regler konzipiert. Eine optimale Einstellung des PI-Reglers gewährleistet zum einen eine verzögerungsfreie Reaktion auf auftretende Sollwertabweichungen bei Strom und Drehzahl und garantiert zudem durch die Kompensation von stationären Störgrößen die stationäre Genauigkeit. Der Positionsregler ist in der EPOS2 als PID-Regler (proportional-integral-derivative controller) ausgeführt. Dadurch wird eine noch höhere Regeldynamik und ein schnellerer Einschwingvorgang auf die gewünschte Sollposition erreicht. Durch den dämpfend wirkenden D-Anteil werden zudem Überschwingungen, die durch grosse Regelfehler entstehen können, stark verringert.

Bei vielen Antriebsanwendungen, beispielsweise beim konturtreuen Fräsen eines Werkstückes, muss die Regelgröße zu jeder Zeit genau einer vorgegebenen Trajektorie folgen. Dies wird aber durch den Regler allein nicht optimal gewährleistet – es entsteht ein Schleppfehler zwischen Ist- und Sollgröße. Um diesen Effekt zu minimieren bietet die EPOS2 eine modellgestützte Vorsteuerungsstruktur (feed forward). Ein Regler kann naturgemäss erst dann korrigierend eingreifen, wenn auch eine Regelabweichung vorhanden ist. Durch die Verzögerungen im Regelkreis entstehen dann die oben beschriebenen Abweichungen und Schleppfehler. Da ein Bahngenerator die gewünschte Bahnkurve oder Solltrajektorie vorgibt,

kann aus der Kenntnis der Trajektorie auch zu jedem Zeitpunkt, neben der gewünschten Position, auch die dazu notwendige Geschwindigkeit und Beschleunigung abgeleitet werden. Wenn nun noch Streckeneigenschaften, insbesondere die träge Masse und die Reibungskennwerte bekannt sind, können daraus die Vorsteuerwerte für die gewünschte Dynamik des Systems berechnet werden. Mit diesen Vorsteuerwerten kann der Motorstrom verzögerungsfrei so vorgegeben werden, dass die Solltrajektorie im Idealfall genau erreicht wird. Der Positionsregler muss dann nur noch minimale verbleibende Abweichungen ausregeln.

In der EPOS2 sind zwei Arten von Vorsteuerung (feed forward) implementiert. Die Beschleunigungsvorsteuerung liefert zusätzlichen Strom, der für Beschleunigungs- oder Bremsvorgänge der trägen Masse des Antriebs benötigt wird. Die Geschwindigkeitsvorsteuerung kann geschwindigkeitsproportionale Reibung (viscous friction) vorausschauend kompensieren.

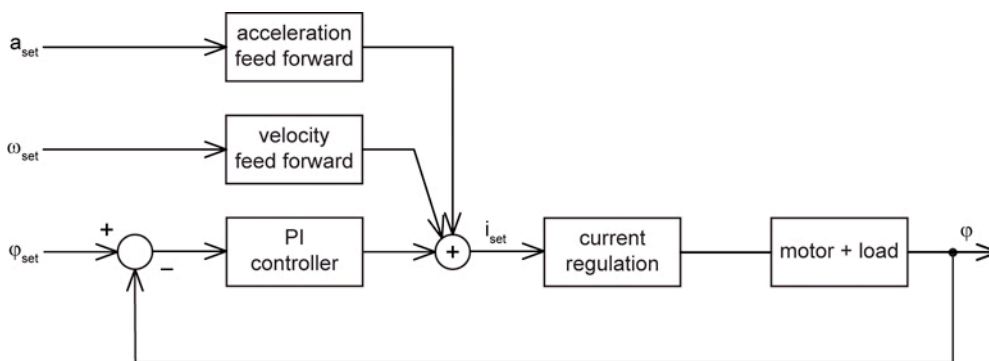


Abbildung 4 Positionsregel-Struktur

Auto Tuning

Inbetriebnahme und optimale Parametrierung der Regler- und Vorsteuerungsgrößen für ein bestimmtes System gestalten sich häufig schwierig, da in der Praxis ein a-priori Wissen über die Parameter des Systems (Massen, Reibungen, etc.) meist nicht vorhanden ist. Eine rechnerische Bestimmung der Regler- und Vorsteuerungsparameter ist damit entweder nicht möglich, oder sehr umständlich und zeitaufwändig. Um diese Problematik zu überwinden bietet EPOS2 eine geführte Inbetriebnahme an, mit der die Regler- und Vorsteuerparameter automatisch bestimmt werden.

Das maxon Auto Tuning ist ein modellbasiertes selbsttätiges Einstellverfahren, das in zwei Hauptschritten erfolgt:

- Identifikation des Systems
- Berechnung der Regler- und Vorsteuerungsparameter

Die Systemidentifikation erfolgt im Frequenzbereich. Der Frequenzgang der Strecke wird durch ein Dauerschwingungsverfahren ermittelt. Dazu wird in den Regelkreis ein Zweipunktglied eingefügt, das den nicht-linearen Regelkreis bei geeigneter Wahl der Parameter zu charakteristischen Eigenschwingungen anregt (Abbildung 5). Die Grundschwingungen am Eingang X und am Ausgang Y der Strecke werden gemessen. Deren Verhältnis nach Betrag und Phase liefert einen Punkt des gesuchten Frequenzgangs. Durch einen adaptiven Algorithmus wird die Verstärkung des Zweipunktgliedes automatisch so eingestellt, dass eine stationäre Dauerschwingung am Ausgang der Strecke Y eine bestimmte Amplitude erreicht. Durch passendes Einstellen der Zeitkonstante T des Tiefpasses wird auch die Phasenverzögerung des Systems eingestellt. Mit Änderungen von Verstärkung und Zeitkonstanten können verschiedene charakteristische Frequenzen eingestellt werden. So erhält man weitere Werte nach Betrag und Phase zur Rekonstruktion des Frequenzganges der Strecke. Aus der so berechneten Übertragungsfunktion der Strecke können die Reglerparameter, zum Beispiel nach der Methode der Polvorgabe, sowie die Vorsteuerungsparameter berechnet werden. Per Knopfdruck können so automatisch die passenden Regel- und Vorsteuerungsparameter bestimmt werden. Die in der Praxis gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass dieses automatische Ein-

stellverfahren auch bei sehr unterschiedlichen Streckeneigenschaften äusserst zuverlässig optimale Reglerparameter und Vorsteuerwerte liefert.

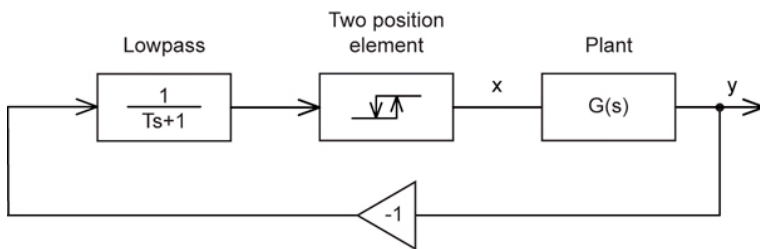


Abbildung 5 Schleife zur Erzeugung der Dauerschwingung

Je nach Anwendung oder Anforderung können dazu die Reglereinstellungen als „soft“ oder „hard“ parametrisiert werden. Die Einstellung „soft“ führt zu einem langsamen aber gut gedämpften Regelverhalten. Im Gegensatz dazu führt die Einstellung „hard“ zu einem wenig gedämpften aber schnellen Einschwingvorgang auf den Sollwert.

Ein Beispiel aus der Praxis

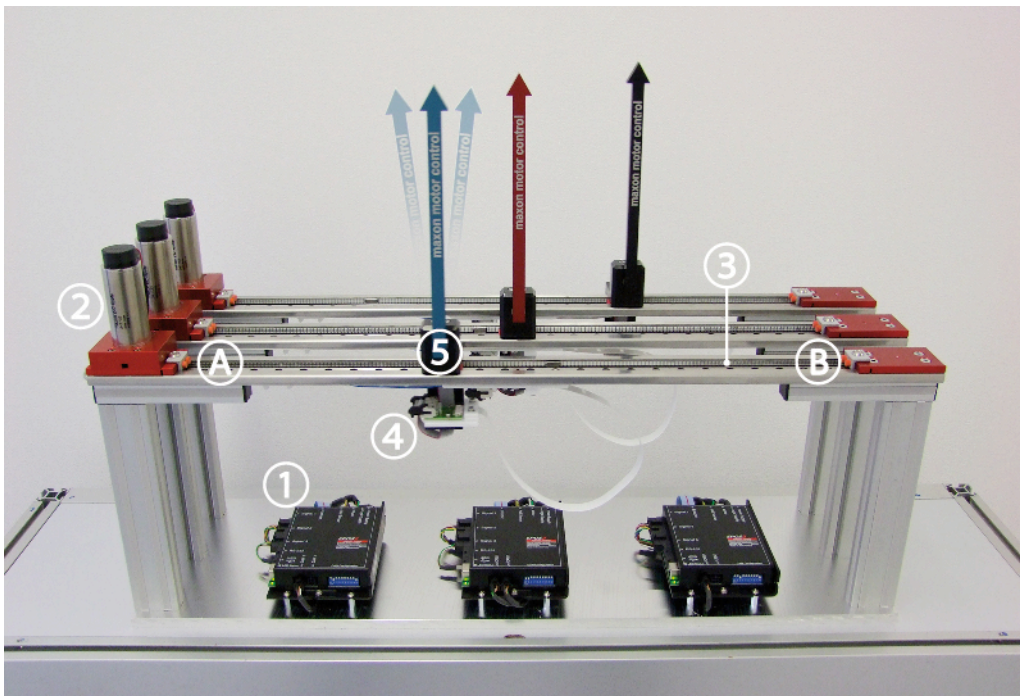


Abbildung 6 Modellaufbau mit drei parallelen Linearachsen:

- (1) EPOS2 Positionssteuerung
- (2) Antrieb (Motor, Getriebe, Encoder)
- (3) Zahnriemen
- (4) Schlitten
- (5) Last

Beschreibung des Modells: Am Schlitten ist ein mittels Drehachse gelagertes Pendel angebracht. Im Ruhezustand zeigt der Pfeil (Pendel) nach unten. Der Schlitten wird durch den Antrieb in Bewegung versetzt, sodass das Pendel voll ausschwingt und am oberen Totpunkt zum Stehen kommt. In dieser (grundsätzlich instabilen) Position wird es in Balance gehalten und mittels Schlitten in Längsrichtung bewegt.

Am Beispiel einer Linearachse mit Riemenantrieb und einer zu bewegenden Masse soll die ausserordentliche Leistungsfähigkeit des Auto Tuning-Verfahrens demonstriert werden.

Die Last soll möglichst schnell und mit möglichst geringem Regelfehler von Punkt A nach Punkt B bewegt werden. Der Motor treibt über ein Getriebe den Zahnriemen an. Als Antrieb wird ein maxon EC-i-Motor mit 50 Watt Nennleistung eingesetzt. Diese Art von Motor zeichnet sich vor allem durch hohe Dynamik und hohe Drehmomentdichte aus. Die Lageregelung der Schlittenposition beziehungsweise der mechanischen Last erfolgt indirekt über den im Motor eingebauten Geber. Die Positioniersteuerung ist eine EPOS2 50/5.

Für die selbsttätige Einstellung des Stromreglers wird zuerst die Strecke gemäss dem oben erläuterten Verfahren identifiziert und dann die PI-Stromreglerparameter berechnet. Für den Positionsregler wird das Verfahren sinngemäss wiederholt und nebst den PID-Positionsreglerparametern auch noch die Vorsteuerparameter berechnet.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Verbesserungen der Dynamik, wenn Auto Tuning auf das beschriebene praktische Beispiel angewendet wird.

Abbildung 7 zeigt die Eigenschaften des Stromreglers vor dem Auto Tuning. Die Reaktion des Motorstroms auf einen Sollwertsprung von 100 mA ist langsam, der Motorstrom pendelt stark um den gewünschten Wert.

Abbildung 8 zeigt dieselbe Situation, jedoch nach erfolgtem Auto Tuning des Stromreglers. Der Motorstrom folgt dem Sollwert ohne Überschwingungen in deutlich weniger als 1 msec. Die verbleibenden, sehr kleinen Fluktuationen sind im Wesentlichen auf die endliche Auflösung des A/D-Wandlers bei der Strommessung zurückzuführen.

Das dynamische Verhalten des Positionsreglers für einen Positioniervorgang des Schlittens entsprechend einer Sollwertänderung von 0 qc auf 5000 qc – (qc = Quadcount; ein Impuls der Gebereinheit entspricht 4 qc) – ist in Abbildung 9 aufgezeichnet. Erkennbar ist das starke Pendeln um die Solltrajektorie, jeweils angeregt durch die Beschleunigungs- und Bremsvorgänge des Positioniervorgangs.

Im Gegensatz dazu ist nach dem Auto Tuning ein praktisch perfekter Verlauf der Position des Schlittens erkennbar. Der Schleppfehler ist ausserordentlich gering, die stationäre Genauigkeit wird in sehr kurzer Zeit erreicht (Abbildung 10).

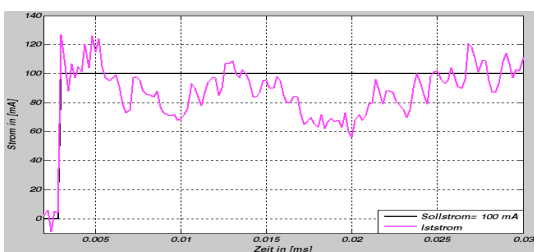


Abbildung 7 Eigenschaften des Stromreglers vor Auto Tuning

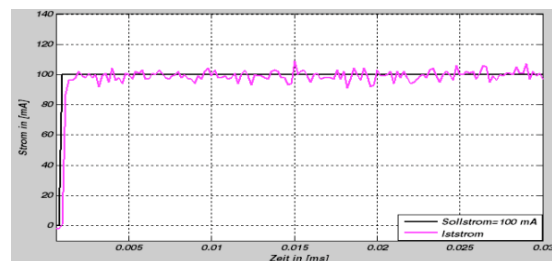


Abbildung 8 Eigenschaften des Stromreglers nach Auto Tuning

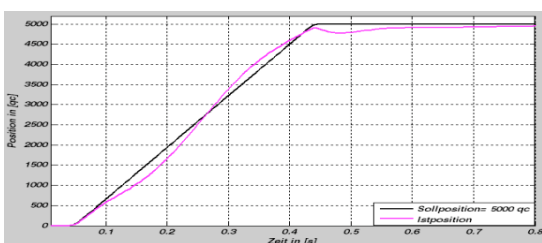


Abbildung 9 Dynamik des Positioniervorgangs vor Auto Tuning

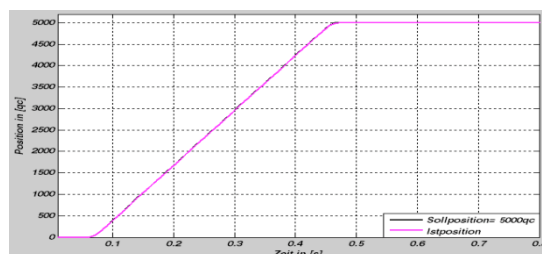


Abbildung 10 Dynamik des Positioniervorgangs nach Auto Tuning

Die Abbildungen 7 bis 10 zeigen auf eindrückliche Weise die erreichten Verbesserungen der Regelungs-dynamik. Spezielle regelungstechnische Kenntnisse werden nicht benötigt. Und da dieses Verfahren zur

automatischen Reglereinstellung ausserordentlich schnell und zuverlässig arbeitet, kann die Positioniersteuerung in wenigen Sekunden in Betrieb genommen werden.

Autor: maxon motor ag / Zakia Zeroual, System- und Entwicklungsingenieurin bei maxon motor ag

Weitere Informationen erhalten Sie bei...

maxon motor ag
Brünigstrasse 220
Postfach 263
CH-6072 Sachseln

Telefon +41 41 666 15 00
Fax +41 41 666 16 50
Web www.maxonmotor.com