

Stefan Basler

Encoder und Motor-Feedback- Systeme

Winkellage- und Drehzahlerfassung
in der industriellen Automation

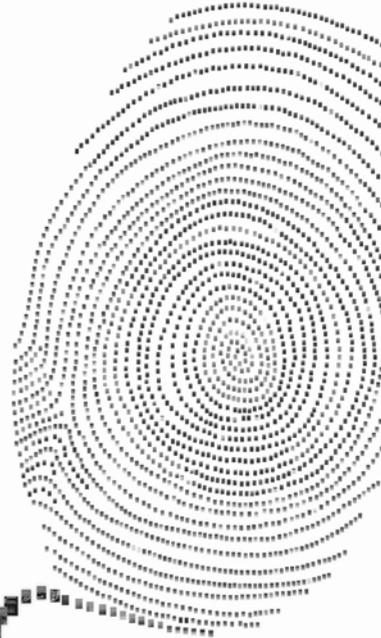
 Springer Vieweg

Encoder und Motor-Feedback-Systeme

Lizenz zum Wissen.

Sichern Sie sich umfassendes Technikwissen mit Sofortzugriff auf tausende Fachbücher und Fachzeitschriften aus den Bereichen: Automobiltechnik, Maschinenbau, Energie + Umwelt, E-Technik, Informatik + IT und Bauwesen.

Exklusiv für Leser von Springer-Fachbüchern: Testen Sie Springer für Professionals 30 Tage unverbindlich. Nutzen Sie dazu im Bestellverlauf Ihren persönlichen Aktionscode **C0005406** auf www.springerprofessional.de/buchaktion/



**Jetzt
30 Tage
testen!**

Springer für Professionals.
Digitale Fachbibliothek. Themen-Scout. Knowledge-Manager.

-  Zugriff auf tausende von Fachbüchern und Fachzeitschriften
-  Selektion, Komprimierung und Verknüpfung relevanter Themen durch Fachredaktionen
-  Tools zur persönlichen Wissensorganisation und Vernetzung

www.entschieden-intelligenter.de

Springer für Professionals

 Springer

Stefan Basler

Encoder und Motor-Feedback- Systeme

Winkellage- und Drehzahlerfassung
in der industriellen Automation



Springer Vieweg

Stefan Basler
Brigachtal, Deutschland

ISBN 978-3-658-12843-2 ISBN 978-3-658-12844-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-12844-9

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Vorwort

Nahezu überall dort, wo sich in der industriellen Automation Achsen drehen, rotative Bewegungen in lineare oder lineare Bewegungen in rotative umgesetzt werden besteht der Bedarf die Winkellage und/oder die Drehzahl zu messen. Messgeräte die dazu eingesetzt werden bezeichnet man als Encoder, Motor-Feedback-Systeme oder ganz allgemein als Drehgeber. Drehgeber scheinen einfache Gebilde zu sein. Dabei sind sie komplexe, mechatronische Geräte, die einen wichtigen Beitrag für die industrielle Automation leisten, nicht zuletzt hinsichtlich Ressourcen- und Energieeffizienz.

Gibt es bereits Fachbücher zu Drehgebern stellen diese überwiegend die Funktionsprinzipien der Sensorik in den Vordergrund. Insbesondere Beiträge in Sammelwerken für Sensoren konzentrieren sich darauf. Artikel in den branchenüblichen Fachzeitschriften adressieren punktuelle Innovationen einzelner Geräte oder Hersteller und die wissenschaftliche Literatur beschäftigt sich überwiegend mit theoretischen Fragestellungen. Entsprechend war das Ziel mit diesem Werke einen Überblick über möglichst viele Aspekte dieser Geräte und deren Anwendung zu geben. Mit dem Anspruch einen Bogen von der Theorie zur Praxis zu spannen werden die Messaufgaben, die Funktionsprinzipien, Geräte und Anwendungsaspekte behandelt. Insbesondere soll die Lücke geschlossen werden die bis heute hinsichtlich einer dedizierten Betrachtung der Motor-Feedback-Geräte besteht.

Dieses Buch basiert auf und ist motiviert durch den Beitrag von SICK STEGMANN GmbH in dem Buch „Sensoren in Wissenschaft und Technik“. Mit der Planung einer neuen Auflage war die Frage verbunden, ob Teile des Buchs nicht als Ausgliederung in der „essentials“-Reihe des Springer-Verlags denkbar wären. Dieses Angebot annehmend hat sich schnell herausgestellt, dass der Rahmen der „essentials“ für das Themengebiet zu eng wird, so dass mit dem Verlag

zusammen entschieden wurde ein umfanglicheres Werk zu erstellen. Neben der schriftlichen Arbeit ergibt sich eine didaktische Aufarbeitung der Thematik aus der Erarbeitung und Durchführung einer Vorlesung an der HFU Hochschule Furtwangen University im Rahmen des „Mechatronischen Seminars“ im Fachbereich Maschinenbau und Mechatronik.

Ein herzliches Dankeschön geht an meine Kollegen aus den Entwicklungs- und Marketingabteilungen der SICK STEGMANN GmbH. Hier möchte ich mich insbesondere an Dr.-Ing. David Hopp, Heiko Krebs, Christian Lohner, Reinhold Mutschler, Dr. Christian Sellmer, Dr. Simon Stein, Trevor Stewart und Rolf Wagner wenden, die das Manuskript aufmerksam studiert und durch Ihre Tipps einen wertvollen Beitrag zu dem Buch geleistet haben. Katharina Hirt danke ich für die Unterstützung bei der Erstellung zahlreicher Grafiken. Dem Verlag und insbesondere dem Lektorat vertreten durch Reinhard Dapper und Andrea Broßler danke ich für die gute Zusammenarbeit.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie: Regina, Sophia und Lena. Ist das Werk auch noch so klein, so hat es doch Zeit in Anspruch genommen, die sonst Ihnen gegönnt gewesen wäre.

Brigachtal
November 2015

Stefan Basler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Messaufgabe	5
2.1	Winkel, Drehzahl und Winkelbeschleunigung	5
2.2	Messbereich	8
2.3	Winkelrechnung in Drehgebern	9
2.4	Codierung	14
2.4.1	Inkrementalcode	14
2.4.2	Absolutcode	16
2.4.3	Synchronisation	18
2.5	Auflösung, Messwertabweichung, Reproduzierbarkeit	22
2.5.1	Allgemeines	22
2.5.2	Messwertabweichung bei Drehgebern	27
2.5.3	Messwertabweichungen bei Sinus-Cosinus basierter Winkelrechnung	31
	Literatur	41
3	Sensorische Funktionsprinzipien	43
3.1	Optische Funktionsprinzipien	45
3.1.1	Vorbemerkung	45
3.1.2	Schlüsselkomponenten	45
3.1.3	Schattenbildverfahren	52
3.1.4	Verfahren basierend auf optischer Beugung	56
3.1.5	Weitere optische Funktionsprinzipien	58

3.2	Magnetische Funktionsprinzipien	62
3.2.1	Vorbemerkungen	62
3.2.2	Magnetfeldsensoren	62
3.2.3	Messanordnungen und Magnete	66
3.2.4	Spezielle magnetische Sensoren für Drehgeber	70
3.3	Induktive Funktionsprinzipien	72
3.3.1	Allgemeines	72
3.3.2	Signalverarbeitung	77
3.3.3	Häufig verwendete induktive Drehgeber	80
3.4	Kapazitives Funktionsprinzip	83
3.5	Resistiv-Potenziometrisches Funktionsprinzip	88
3.6	Zusammenfassung	92
	Literatur	93
4	Aufbau und Schnittstellen von Drehgebern	95
4.1	Vorbemerkungen	95
4.2	Drehgeberkomponenten und -module	97
4.2.1	Mechanische Lagerung	97
4.2.2	Kupplungselemente	101
4.2.3	Multiturn Module	104
4.2.4	Sensorelektronik und Signalverarbeitung	111
4.3	Mechanische und elektrische Schnittstellen	113
4.3.1	Mechanischer Anbau	113
4.3.2	Elektrische Schnittstellen	116
4.3.3	Aspekte des Drehgeber-Anbaus	122
	Literatur	123
5	Drehgeber in der Anwendung	125
5.1	Übergeordnete Aspekte	125
5.1.1	Einordnung	125
5.1.2	Funktionale Sicherheit	126
5.1.3	Mehrwertfunktionen	131
5.2	Encoder	133
5.2.1	Aufgabe und Anforderungen	133
5.2.2	Elektrische Schnittstellen	136
5.2.3	Anwendungen	145
5.3	Motor-Feedback-Systeme	146
5.3.1	Aufgabe und Anforderungen	146
5.3.2	Elektrische Schnittstellen	153

5.3.3	Anwendungen.....	160
5.3.4	Geberlose Antriebssysteme	165
	Literatur	168
	Abkürzungen	169
	Weiterführende Literatur	173
	Stichwortverzeichnis	175

Zusammenfassung

Encoder und Motor-Feedback-Systeme, oder ganz allgemein, Drehgeber, wandeln einen Winkel zweier sich relativ zueinander drehbarer Objekte in ein elektrisches Signal. Neben gebräuchlichen Begriffen für die Geräte wird eine schematische Sicht auf die Funktionsblöcke eingeführt. Darauf folgt eine Übersicht zu Drehgeberfunktionen und -eigenschaften, die im weiteren Verlauf des Buchs weiter detailliert werden.

Nahezu überall, wo etwas bewegt wird, drehen sich Achsen. Um diese rotatorische Bewegung steuern und regeln zu können, bedarf es Encoder und Motor-Feedback-Systeme. Diese wandeln den Winkel zweier relativ zueinander drehbarer Objekte in ein elektrisches Signal um. Encoder und Motor-Feedback-Systeme unterscheiden sich dabei primär in der Anwendung und sich daraus ergebenden Geräteanforderungen. Während Encoder in allgemeinen Anwendungen zur Erfassung eines Winkels einer Drehachse verwendet werden, sind Motor-Feedback-Systeme speziell für den Einsatz in Elektromotoren¹ ausgelegt. Man kann auch unterscheiden, dass ein Encoder als Lastgeber dient (er misst an der Lastachse) und ein Motor-Feedback-System als Motorgeber (es ist direkt im oder am Elektromotor angebracht).

¹Im industriellen Umfeld können auch nicht elektrisch betriebene rotatorische Aktoren eingesetzt werden. Da aber Elektromotoren am häufigsten vorkommen, wird im Rahmen dieses Buches nur dieser Aktor betrachtet.

Neben Encoder und Motor-Feedback-Systeme gibt es weitere Begriffe (vgl. Abb. 1.1). Diese sind teilweise redundant oder bezeichnen spezifische Ausprägungen. Im Rahmen dieses Buches wird bevorzugt der Begriff Drehgeber verwendet, wenn es sich um allgemeine Darstellungen handelt. Die Begriffe Motor-Feedback-System und Encoder werden an den Stellen eingesetzt an denen die Anwendung zu unterscheiden ist. Die weiteren Begriffe werden nur in relevanten Ausnahmen genutzt.

Der Sensorkern eines Drehgebers besteht grundsätzlich aus drei Elementen (Abb. 1.2; φ : Winkel).² Der Sender bringt Energie in das System ein. Der Modulator verändert die eingebrachte Energie proportional zum mechanischen Winkel und



Abb. 1.1 Begriffe für Sensoren für Winkel und Drehbewegung

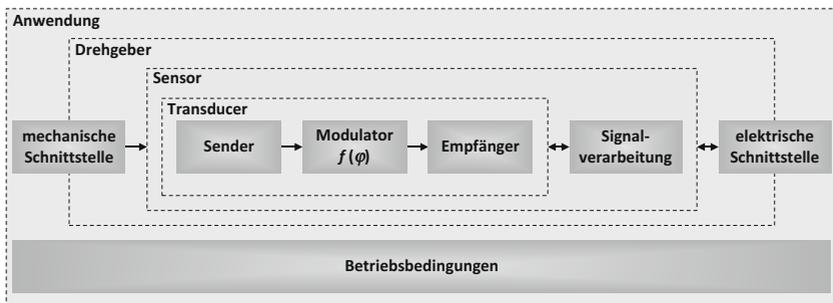


Abb. 1.2 Schematische Darstellung der Funktionsblöcke eines Drehgebers

²Hier ergeben sich durchaus Parallelen mit der Nachrichtentechnik hinsichtlich der Betrachtung von Sender, Übertragungskanal und Empfänger.

dient somit als Maßverkörperung. Der Empfänger wandelt die modulierte physikalische Größe in ein elektrisches Signal. Kombiniert mit Signalverarbeitung, elektrischer und mechanischer Anbindung erhält man einen Drehgeber.

Diese abstrakte Betrachtungsweise hinsichtlich Sender-Modulator-Empfänger lässt sich mittels unterschiedlicher sensorischer Prinzipien umsetzen. In Drehgebern finden sich optische, magnetische, induktive, kapazitive und resistiv-potenziometrische Sensorkerne (Kap. 3). Weiterhin kann man nach elektromechanischen und mechatronischen Drehgebern unterscheiden. Bei elektromechanischen Drehgebern sind keine halbleitenden Elemente verbaut, wohl aber bei den mechatronischen. Bei den elektromechanischen Drehgebern stellt der Drehgeber nur den „Transducer“ (dt.: Wandler) dar. Die auswertende Einheit steuert Sender und Empfänger und führt alle Maßnahmen zur Winkelauswertung durch. Bei einem mechatronischen Drehgeber hingegen geschieht dies alles geräteintern. Die aufbereitete Winkelinformation kann mit geringem Aufwand durch die auswertende Einheit verwendet werden. Auch können durch den Einsatz von Mikrocontrollern Funktionen mit Mehrwert bereitgestellt werden, die Drehgeber werden „intelligent“. Beispiele finden sich hierzu in Abschn. 5.1.3.

Darüber hinaus haben Drehgeber viele weitere Funktionen und Eigenschaften. Diese lassen sich in einem morphologischen Kasten übersichtlich darstellen (Tab. 1.1). Details zu all diesen finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

Dieses Buch behandelt Drehgeber, also Geräte zur Erfassung rotativer Positionen. Fast alle Betrachtungen dazu lassen sich auch auf lineare Wegsensoren anwenden. Schließlich ist – mathematisch gesehen – eine Gerade ein Kreis mit unendlich großem Radius. Bei den Motor-Feedback-Systemen wird in der Praxis begrifflich nicht unterschieden, ob es sich um eine rotative oder lineare Messaufgabe handelt.

Tab. 1.1 Übersicht zu Drehgeberfunktionen und -eigenschaften in einem morphologischen Kasten

Parameter	Ausprägung		
Art der Anwendung	Lagegeber (Encoder)	Motorgeber (Motor-Feedback-System)	
Gerätetopologie	elektromechanisch	mechatronisch	
Codierung	inkremental	absolut	hybrid (inkremental & absolut)
Messbereich	Teilkreis	Vollkreis (Singleturn)	Rundachsfunktion Mehrere Umdrehungen (Multiturn)
mechanische Konfiguration des Sensorkerns	berührend	berührungslos	
sensorisches Funktionsprinzip	optisch	magnetisch	induktiv
Anordnung des Sensorkerns	reflexiv	transmissiv	
Art der elektrischen Schnittstelle	digital parallel	digital seriell	analog hybrid
Kupplungsart	Wellenkupplung	Statorkupplung	
Lagerart	eingelagert	fremdgeлагert (lagerlos)	
Flansch	Servoflansch	Klemmflansch	
Wellenart	Vollwelle	Aufsteck-Hohlwelle	Durchsteckwelle/Hohlwelle Konuswelle
Gerätetopologie	Gerät	Kit („Bausatz“)	
Elektrischer Abgang	Stecker radial	Stecker axial	Kabel radial Kabel axial
Funktionale Sicherheit (SIL und PL)	keine/PLa	SIL1/PLb/c	SIL2/PLd SIL3/PLe

Zusammenfassung

Die Messaufgabe von Drehgebern besteht darin die Winkelstellung einer rotativen Achse zu einem Referenzpunkt zu messen und anzuzeigen. In diesem Kapitel werden relevante theoretische und messtechnische Grundlagen gelegt, notwendige Begriffe definiert und in Bezug gesetzt. Dabei wird nicht nur die eigentliche Winkelmessung betrachtet, sondern auch die Erfassung abgeleiteter Größen wie die Drehzahl und die Winkelbeschleunigung.

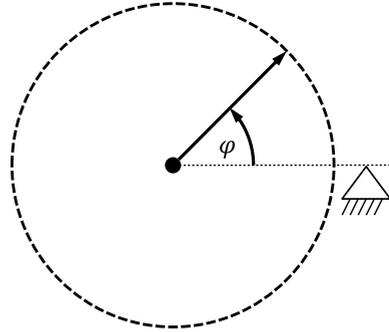
2.1 Winkel, Drehzahl und Winkelbeschleunigung

In der Trigonometrie (Mathematik der ebenen Geometrie) schließen zwei von einem gemeinsamen Punkt ausgehenden Geraden einen Winkel ein. Im Sinne von Drehgebern ist die Sichtweise besser geeignet wonach ein Winkel die Stellung zweier Schenkel mit der Drehachse als Scheitelpunkt beschreibt, also die Winkelstellung einer Drehachse zu einem Bezugspunkt, bzw. einer Bezugsachse (Abb. 2.1). Im Rahmen dieses Buchs wird der zu messende Winkel mit φ bezeichnet. Das Vorzeichen wird in der Praxis mit der Blickrichtung auf die Drehachse definiert. In der folgenden theoretischen Betrachtung spielt dies aber keine Rolle.

Für Winkel verwendet man die Einheiten Grad und Radian (das Gon wird hier nicht betrachtet¹). Dabei hat eine Umdrehung bekanntermaßen 360 Grad

¹ Geodatisches Winkelmaß; 1 *Umdrehung* $\hat{=}$ 400 gon

Abb. 2.1 Winkel bei rotatorischer Bewegung



(Einheitszeichen $^{\circ}$) oder im Bogenmaß ausgedrückt, 2π Radian (Einheitszeichen rad).

Die beiden Einheiten lassen sich mit dem Umrechnungsfaktor ρ einfach in Beziehung setzen:

$$\rho = \frac{360^{\circ}}{2\pi} = \frac{180^{\circ}}{\pi} \quad (2.1)$$

Ein Grad lässt sich unterteilen in Bogen- bzw. Winkelminuten ($1^{\circ} = 60'$) oder gar Bogen- bzw. Winkelsekunden ($1' = 60''$). Manchmal werden auch Milli-Grad (m° ; 10^{-3}) verwendet. Eine Umdrehung (ein Vollwinkel) hat somit:

$$1 \text{ Umdrehung} \hat{=} 360^{\circ} = 21.600' = 1.296.000'' = 360.000m^{\circ} \quad (2.2)$$

Beispiele

Entsprechend ist eine Winkelsekunde annähernd der 1,3 Millionste Teil einer Umdrehung. Zur Verdeutlichung der Größenordnung folgend einige Beispiele:

- Bei einer Auflösung von einer Winkelsekunde lässt sich die Erdoberfläche (Erdumfang ~ 40.000 km) mit 30,9 m auflösen.

Oder leichter vorstellbar:

- Ein Winkelmesssystem mit einer Winkelsekunde Auflösung löst bei einem Radius von einem km ein Kreissegment von $\sim 4,8$ mm auf.
- Ein Drehgeber mit einer Codescheibe mit 30 mm Durchmesser der eine Winkeländerung von einer Winkelsekunde anzeigt, löst einen Kreisbogen mit knapp 73 nm (!) auf.

Bei der Einheit Radiant verwendet man als Unterteilung das Milliradian. Oder auf eine Umdrehung bezogen:

$$1 \text{ Umdrehung} \hat{=} 2\pi \text{ rad} \approx 6283,2 \text{ mrad} \quad (2.3)$$

Beispiele

Umrechnungsbeispiele für kleine Winkelmaße:

$$1' \approx 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ rad} = 0,291 \text{ mrad} \quad 1 \text{ mrad} \approx 5,73 \cdot 10^{-2} \circ = 3'27,3''$$

$$1'' \approx 0,48 \cdot 10^{-5} \text{ rad} = 4,8 \mu\text{rad} \quad 1 \text{ rad} \approx 57^\circ 17' 44''$$

In diesem Buch wird in der weiteren Betrachtung und in Graphen bevorzugt im Gradmaß gearbeitet. Zur besseren Lesbarkeit wird anstatt der Apostrophenschreibweise die Einheitenbezeichnung „arcmin“ für Winkelminute und „arcsec“ für Winkelsekunde verwendet.

Neben dem eigentlichen Winkel sind auch daraus ableitbare Größen, wie Winkelgeschwindigkeit bzw. Drehzahl und Winkelbeschleunigung für viele Anwendungen relevant.

Die Winkelgeschwindigkeit ω bezeichnet die Änderung des Winkels mit der Zeit:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (2.4)$$

bzw. bei gleichförmiger Bewegung:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (2.5)$$

Als Einheit für die Winkelgeschwindigkeit verwendet man rad/s , seltener $^\circ/\text{s}$. In der Technik bezieht man sich oft auf die Anzahl der Umdrehungen pro Zeiteinheit, d. h. die Drehzahl (oder Umdrehungsfrequenz). Hierfür verwendet man die Einheit Umdrehungen pro Minute (UPM; engl.: „revolutions per minute“, rpm), $1/\text{min}$ oder min^{-1} . Formal hat die Winkelgeschwindigkeit und die Drehzahl folgende Beziehung:

$$n = \frac{30}{\pi} \cdot \omega = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (2.6)$$

(n : Drehzahl in $[1/\text{min}]$; ω : Winkelgeschwindigkeit in $[\text{rad/s}]$; $\Delta\varphi$: Winkeländerung in $[\text{rad}]$; Δt : Zeitänderung in $[\text{s}]$)

Beispiel

Bei einer Drehzahl von 6.000 UPM bzw. 100 UPS (Umdrehungen pro Sekunde) wird eine Umdrehung in 10 ms durchlaufen.

Die Winkelbeschleunigung α beschreibt die Änderung der Winkelgeschwindigkeit ω mit der Zeit. Mathematisch ausgedrückt ergibt sich:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (2.7)$$

oder bei gleichförmiger Geschwindigkeitsänderung:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\Delta^2\varphi}{\Delta t^2} \quad (2.8)$$

Bezogen auf die Drehzahl ergibt sich folgende Beziehung:

$$\alpha = \frac{\pi}{30} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad (2.9)$$

Als Einheiten verwendet man rad/s^2 , seltener $^\circ/\text{s}^2$.

Beispiel

Ein Antrieb der von 0 UPM auf 6.000 UPM in 10 ms beschleunigt, hat eine Winkelbeschleunigung von $62,8 \cdot 10^3 \text{ rad/s}^2$. Moderne Servoantriebe realisieren solch beeindruckende Beschleunigungen (Abschn. 5.3).

Neben der Drehzahl und der Winkelbeschleunigung gibt es weitere zeitliche Ableitungen des Winkels (z. B. der Ruck als dritte Ableitung $\ddot{\varphi}$). Diese sind in der Praxis nur in Nischenanwendungen relevant und werden nicht weiter betrachtet.

2.2 Messbereich

Als Messbereich bezeichnet man den Bereich der zu messenden Größe in dem ein Messgerät einen gültigen Messwert anzeigen kann. Bei Drehgebern bezieht sich dies auf den Winkelbereich. Man unterscheidet primär drei Messbereiche. Teilwinkel, Vollwinkel oder mehrere Umdrehungen (Abb. 2.2). Stehen bei Drehgebern eindeutige Winkelwerte über eine mechanische Umdrehung zur Verfügung, spricht man von Singleturn-Drehgebern, bei solchen, die eindeutige Werte über mehrere Umdrehungen ausgeben von Multiturn-Drehgebern.² Daneben gilt es zwei Sonderfälle zu betrachten:

²Deutsche Begriffe sind nicht gebräuchlich.

- Inkrementaldrehgeber (Abschn. 5.2) zeigen nur eine Winkeländerung (Inkmente) gemäß deren Auflösung an. Diese Funktion steht über eine Umdrehung zur Verfügung.
- Drehgeber mit einer sogenannten Rundachsfunktion (Endloswelle, elektronisches Getriebe) zeigen einen anderen Messbereich an als den, der der verwendeten Sensorik zugrunde liegt. Am besten erklärt sich die Funktion an einem Beispiel:

Beispiel

Ein System hat ein Getriebe. Der Drehgeber ist als Lastgeber an der Antriebsachse des Getriebes angebracht und das Getriebe hat eine Untersetzung von 1 : 2,73. Mithilfe der Rundachsfunktion zeigt nun der Drehgeber nicht die eigentliche Winkelposition der Drehgeberachse an, sondern die an der Getriebeabtriebsachse. Entsprechend beträgt der Messbereich 2,73 Umdrehungen.

Die Rundachsfunktion erlaubt beliebige ganzzahlige und nicht-ganzzahlige Über- und Untersetzungsverhältnisse (Abb. 2.2).

2.3 Winkelrechnung in Drehgebern

Nur wenige Drehgeber-Messprinzipien erlauben es, einen winkelproportionalen Wert direkt sensorisch zu ermitteln (z. B. resistiv-potentiometrischer Drehgeber). Bei den anderen Prinzipien wird versucht einen in der Mathematik üblichen Weg zu gehen. Der Winkel wird auf Basis trigonometrischer Funktionen ermittelt (Goniometrie). Die Sensoren werden so gestaltet, dass bei Drehbewegung sinusförmige Signale entstehen, meist ein Sinus- und ein Cosinussignal (Abb. 2.3). Diese Signalpaarung wird auch als Quadratursignale bezeichnet, da sie in Quadratur, d. h. im rechten Winkel stehen (90° Phasenversatz). Zur Veranschaulichung kann eine Darstellung am Einheitskreis verwendet werden. Ein Zeiger (Vektor) mit der Länge 1 dreht sich gegen den Uhrzeigersinn. Als Drehachse ist der Koordinatenursprung definiert und als Nullpunkt die Lage des Zeigers auf der Abszisse in positiver Richtung liegend. Die y-Komponente des Zeigers repräsentiert den Sinus und die x-Komponente den Cosinus. Der Winkel φ wird zwischen dem Vektor und der Abszisse aufgespannt.

Diese Sinus- und Cosinussignale lassen sich anhand der bekannten goniometrischen Beziehung

$$\tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \quad (2.10)$$