



Bewegungsvorschriften definieren Kinematik

Maschinenmarkt Ausgabe 5 - 1985

Rechnerprogramm vereinfacht das Auslegen von Kurvengetrieben

Das Berechnen, Analysieren und die Synthese von ungleichförmig übersetzenden Kurvengetrieben ermöglicht ein Rechnerprogramm. Eingabedaten sind die kinematischen Abmessungen und die jeweilige Struktur des Getriebes. Die Struktur der Getriebe kann man dabei mit Programmmodulen für die Berechnung festlegen. Getriebe, deren Getriebeelemente man nicht definieren kann, simuliert man über Hilfsfunktionen wie Umkehr- oder Übertragungsfunktion.

Kurvengetriebe sind für die Steuerung von Bewegungsabläufen sehr bedeutsam. Wegen der großen Anpassungsfähigkeit des Ablaufs sind sie weit verbreitet. Eine Kurvenberechnung bezieht sich immer auf ein konkretes Problem. Grundsätzlich kommen in der Praxis der Berechnung sehr viele unterschiedliche Aufgabenstellungen vor. Dabei gibt es Aufgaben, die relativ häufig sind. Beispielsweise das Berechnen von Kurven mit Stößel- oder Schwinghebelantrieb. Für diese Standardaufgaben ist es sinnvoll, das Erfassen des Problems zu formalisieren, zum Beispiel mit Formblättern, die alle für die Berechnung wichtigen Getriebeabmessungen beinhalten (Bild 1). Auch für Gelenkgetriebe lassen sich ähnliche Definitionen angeben. Der Vorteil liegt darin, daß auch derjenige, der die theoretischen Zusammenhänge der Berechnung "nicht durchschaut", immer sicher weiß, welche Werte wo anzugeben sind. Für komplizierte Aufgaben, auch nicht standardmäßige, verwendet man für die Kommunikation zwischen Berechner und Konstrukteur am ehesten Bewegungsdiagramme und kinematische Schemata. Grafische Darstellungen in normierter Form sind im Gegensatz zu Tabellen oder Texten sehr viel einleuchtender und leichter verständlich. Außerdem sind Grafiken weniger fehleranfällig als Tabellen, eventuelle Fehler fallen eher auf.

Programm für Kurven ermittelt Kontur

Ist ein (mathematisches) Modell für das Problem vorhanden, so muß aus den gegebenen Maßen und Angaben die gesuchte Lösung ableitbar sein. Weil eine Kurve ein Werkstück ist, dem eine charakteristische Form gegeben wird, muß für das Herstellen der Kurve diese Kontur in irgendeiner Weise bereitgestellt werden. Dies ist heute sehr oft ein Steuerlochstreifen für NC-Fräsmaschinen.

Das wichtigste für die Berechnung von Kurven ist ein Kurvenprogramm, das aus den bereitgestellten Abmessungen und der Festlegung der Bewegungsaufgabe die Kurvenkontur berechnet.

In vielen Fällen kann man eine allgemeine Simulation aus einer Programmbibliothek oder aber ein Standardprogramm zum Berechnen verwenden; sollte das nicht möglich sein, so muß man ein entsprechendes Programm schaffen. Sehr häufig müssen statt der Koordinaten der Rollenbahn die einer Äquidistante angegeben werden. Dies liegt in der jeweiligen Steuerung begründet und ist für jeden Hersteller unterschiedlich. Natürlich kann auch die theoretische Lösung die Verwendung einer Äquidistante vorschreiben.

Die Berechnung der Geometrie des betrachteten Getriebes bringt dann die Koordinaten der Fräsebahn hervor, deren Abfolge die Kontur des Werkstückes bestimmt.

Jedes Getriebe hat bestimmte kinematische Abmessungen, die sich mit der Drehung der Kurve nach einem bestimmten Bewegungsplan verhalten sollen. Für jede dieser Abmessungen ist eine "Bewegungsvorschrift" definiert. Dies löst man oft mit einer Abfolge von parametrisierten Bewegungsgesetzen, beispielsweise nach der VDI-Richtlinie 2143, die in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung ist. Daneben gibt es noch einige andere Bewegungsgesetze, wie das trigonometrische Polynom oder das Beschleunigungspolygon.

Jedes Bewegungsgesetz hat charakteristische Eigenschaften, die für ihre Anwendung entscheidend sind. So verwendet man kubische Splines, wenn nur diskrete Meßpunkte vorliegen, aber kein theoretischer Verlauf. Harmonische Bewegungen, wie die Modifizierte Sinuslinie (VDI-Richtlinie 2143), sorgen meistens für eine erhöhte Laufruhe der Getriebe, das Polynom fünfter Ordnung wird man dann verwenden, wenn eine Randwertanpassung nötig ist. Die Bewegungsvorschrift für eine Abmessung entsteht dadurch, daß verschiedenen normierten Bewegungsgesetzen jeweils ein Hub und ein Drehwinkel zugeordnet und hintereinandergeschaltet werden.

Neben dem Bewegungsplan kann auch ein vorgeschaltetes Gelenkgetriebe zwischen Abtrieb und Kurve liegen, so daß an der Kurve nicht der ursprüngliche Bewegungsplan direkt verwirklicht ist, sondern entsprechend modifiziert. Wird ein allgemeineres Simulationsprogramm verwendet, so ergibt sich aus der Definition des Getriebes erst eine Übertragungsvorschrift im Gegensatz zu Standardprogrammen.

Einzelglieder verknüpfen zu Getriebeteilen

Dem Berechnungsprogramm muß neben den kinematischen Abmessungen auch die Struktur des Getriebes definitiv mitgeteilt werden. Über eine Konvention oder aber explizit bestimmt man dann im Getriebe "Eingriffsstellen" für den Bewegungsplan. Eine andere "Stelle" im Getriebe liefert die Eingabewerte für die Kurvenberechnung (Schwinghebel oder Stößel an der Kurve). Die Struktur von Getrieben läßt sich mit Hilfe von

Programmbibliotheken oder Gleichungssystemen für die Berechnung festlegen. Ein zweckmäßiges Vorgehen führte Rehwald ein: Gelenkgetriebe, sowohl ebene als auch räumliche, werden als Kombination von elementaren Einzelgliedern und Zweischlägen aufgefaßt. Die elementaren Einzelglieder und Zweischläge werden vordefiniert, und mit Hilfe der Verknüpfung dieser Getriebeteile läßt sich eine Getriebekinematik simulieren. Für die einzelnen Getriebeteile lassen sich wieder Formblätter angeben, die Verknüpfung der Getriebeteile bewirkt die Weitergabe von Funktionswerten an andere Getriebemodule. Alle relevanten Größen im Getriebe bekommen "Namen", die dann in der entsprechenden Moduldefinition auftauchen. Indem Module nacheinander berechnet werden und so insgesamt der Getriebestruktur entsprechen, kann ein Algorithmus zum Berechnen der gesuchten kinematischen Abmessungen angegeben und ausgeführt werden. Getriebe, die nicht auf direktem Wege mit elementaren Getriebeteilen definiert sind, simuliert man über Hilfsfunktionen.

Manche Bewegungsgesetze haben neben der üblichen Wendepunktverschiebung (VDI-Richtlinie 2143) noch andere Parameter, die die Funktion festlegen. Es ist damit oft möglich, eine Kurve zu verbessern. Nimmt man einen üblichen Rast-Rast-Rast-Übergang (R-R-R) (Bild 2), so läßt sich der Bewegungsablauf mit einem in der Maximalbeschleunigung günstigeren Rast-Umkehr-Rast-Übergang (R-U-R) verwirklichen (Bild 3). Benötigt man Geradenstücke im Bewegungsablauf einer Strecke $s(t)$ oder eines Winkels $\varphi(t)$, so läßt sich das Polynom fünfter Ordnung mit Gerade verwenden. Bei diesem Bewegungsgesetz muß man besonders darauf achten, daß der Beschleunigungsverlauf in den Polynomstücken nicht ungünstig verläuft. Der für die Polynomstücke vorgesehene Hub muß entweder experimentell oder exakt algebraisch optimiert werden. Weil die Bewegungsgesetze meist normiert sind, muß man Randwerte immer so anpassen, daß beim Hintereinanderhängen zweier Bewegungsabschnitte mit einem Hub und einem Drehwinkel der Bewegungsverlauf ruckfrei ist, das heißt, an der Nahtstelle zwischen zwei Bewegungsabschnitten müssen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der beiden Abschnitte an der Kurve real gleich sein (VDI-Richtlinie 2143). Dieser Vorgang heißt Randwertanpassung. Eine weitere Möglichkeit, Funktionen zu erzeugen, ist ein Beschleunigungspolygon. Dabei wird ein Beschleunigungsverlauf in Form von Geradenstücken vorgegeben und über Integration der Verlauf der Wegfunktion berechnet. Damit und mit ähnlichen Vorgabegrößen lassen sich beispielsweise Kräfte im Getriebe kontrollieren.

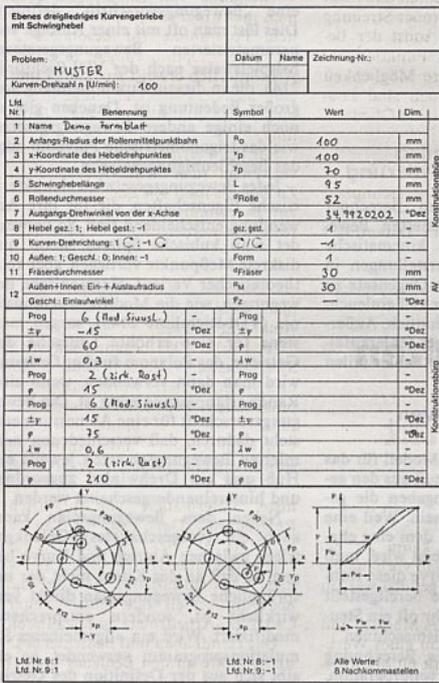
Häufig ist statt eines theoretischen Verlaufs des Bewegungsplans in einem Stück davon nur eine Meßvorgabe bekannt. Um den empirisch ermittelten Verlauf trotzdem simulieren zu können, muß man eine Ersatzfunktion finden, die die Meßreihe möglichst "gut"

beschreibt. Dazu eignen sich kubische Splines. Es ist darauf zu achten, daß nicht zu viele Meßpunkte bei großer Streuung verwendet werden, weil sonst der Beschleunigungsverlauf der Funktion ungünstig wird. Eine andere Möglichkeit für periodische Funktionen sind Fourier-Reihen mit endlich vielen Gliedern.

Lochstreifen erstellen mit Rechnerunterstützung

Bestimmt man mit diesen Berechnungsmethoden die Kontur des Werkstückes, so muß anschließend ein Datenträger für die jeweilige Steuerung der NC-Maschine ausgegeben werden. Neben der Verwendung von Bibliotheksprogrammen (Schwinghebel, Stößel) ist es möglich, Programme für besondere Probleme oder Optimierungen zu erstellen. Als förderlich erweist sich dabei immer eine ausreichende Definition des Problems und eine übersichtliche Darstellung.

Für das Fertigen von Kurvenkörpern verwendet man heute Fräsmaschinen. Zu Beginn muß ein Lochstreifenformat zur Berechnung für die NC-Steuerung festgelegt werden.



Ebenes dreigliedriges Kurvengetriebe mit Schwinghebel

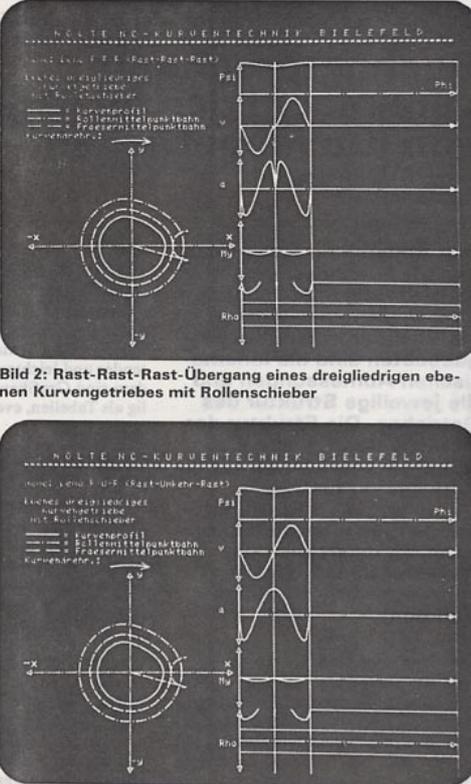
Problem: MUSTER Datum: Name: Zeichnung-Nr.:
Kurven-Drehzahl n (U/min): 100

LS-Nr.	Benennung	Symbol	Wert	Dim.
1	Name	Demo Form Blatt		
2	Anfangs-Radius der Rollenmittelpunktbahn	r_0	100	mm
3	x-Koordinate des Hebel Drehpunktes	x_p	100	mm
4	y-Koordinate des Hebel Drehpunktes	y_p	70	mm
5	Schwinghebelänge	L	95	mm
6	Rolldurchmesser	r_{Rolle}	52	mm
7	Ausgangs Drehwinkel von der x-Achse	φ_p	34,7920202	°Dez
8	Hebel gest. 1; Hebel gest. -1	gest. gest.	1	-
9	Kurven Drehrichtung: 1 \odot ; -1 \ominus	\odot/\ominus	-1	-
10	Außen: 1; Geschl. 0; Innen: -1	Form	1	-
11	Fräserdurchmesser	$r_{Fräser}$	30	mm
12	Außen+Innen: Ein+Auslaufradius	r_{Au}	30	mm
	Geschl. Einlaufwinkel	φ_z	-	°Dez

Prog 6 (Rad. Sinus L) - Prog
 $\pm y$ -45 °Dez $\pm p$ °Dez
 p 60 °Dez
 $\pm w$ 0,3 - $\pm w$ -
 Prog 2 (Zirk. Rost) - Prog
 p 45 °Dez p °Dez
 Prog 6 (Rad. Sinus L) - Prog
 $\pm y$ 45 °Dez $\pm p$ °Dez
 p 35 °Dez p °Dez
 $\pm w$ 0,6 - $\pm w$ -
 Prog 2 (Zirk. Rost) - Prog
 p 2,40 °Dez p °Dez

LS-Nr. 8:1 LS-Nr. 9:1
 Alle Werte: 8 Nachkommastellen

Bild 1: Formalisiertes Datenerfassungsblatt für ebene dreigliedrige Kurvengetriebe mit Schwinghebel



NOLTE NC-KURVENTECHNIK BIELEFELD
 (NOLTE NC-KURVENTECHNIK) (Fast-Fast-Rast)
 Kurven- und Rollenschieber
 Kurvenprofil
 Rollenmittelpunktbahn
 Fräsermittelpunktbahn
 Kurven- φ - φ

NOLTE NC-KURVENTECHNIK BIELEFELD
 (NOLTE NC-KURVENTECHNIK) (Rast-Umkehr-Rast)
 Kurven- und Rollenschieber
 Kurvenprofil
 Rollenmittelpunktbahn
 Fräsermittelpunktbahn
 Kurven- φ - φ

Bild 2: Rast-Rast-Rast-Übergang eines dreigliedrigen ebenen Kurvengetriebes mit Rollenschieber

Bild 3: Rast-Umkehr-Rast-Übergang eines ebenen dreigliedrigen Kurvengetriebes mit Rollenschieber