

Jahre auf Stunden verkürzt

Konstruktion & Engineering Januar 1994

Optimierung komplexer Bewegungsabläufe

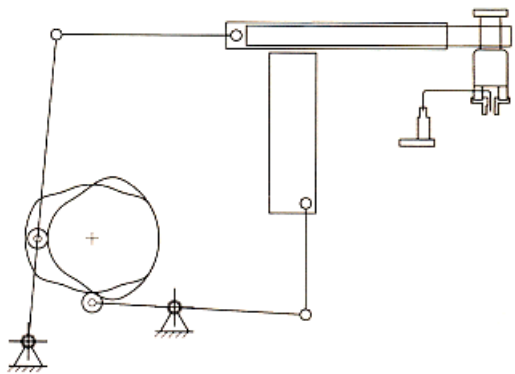
BIELEFELD - Eine Maschine mit komplexen Bewegungsabläufen so zu konstruieren, daß sie sicher und ohne Überlastung der Getriebeglieder, speziell der Kurven, arbeitet, genügt nicht. Der Bewegungsablauf muß optimiert werden. Dieser Prozeß, der sich in der Vergangenheit oft über Jahre durch ständige Veränderungen der Maschine hingezogen hat, muß heute schneller gehen. Komfortable Softwarewerkzeuge schaffen das in wenigen Stunden.

Im Mittelpunkt der Entwicklung kurvengesteuerter Maschinen steht die Aufgabe, ein Produkt mit bestimmten technologischen Eigenschaften beziehungsweise Verhaltensweisen möglichst schnell und präzise zu be- oder verarbeiten. Für die Bearbeitung des Produkts müssen Werkzeuge konstruiert und dann so bewegt werden, daß ihr komplexes Zusammenspiel bei hoher Geschwindigkeit zur sicheren Umsetzung des Bearbeitungszieles führt.

Nur mit einem systematischen Entwicklungsansatz auf globaler Maschinenebene kann eine dem Optimum nahe Lösung für das Problem der Auslegung der Bewegungssteuerung gefunden werden. Das Leistungspotential einer Maschinenkonstruktion läßt sich nur dann voll ausschöpfen, wenn möglichst alle konstruktiven und technologischen Bedingungen gleichzeitig gegeneinander abgewogen und optimiert werden.

Aus den Randbedingungen der jeweiligen Aufgabenstellung läßt sich ein erster Lösungsansatz sowohl für den Bewegungsplan als auch für die verwendeten Getriebe herleiten und anschließend methodisch verbessern. Eine rechnerische Analyse und Simulation bewertet den Lösungsvorschlag. Anhand der so gewonnenen Erkenntnisse werden Verbesserungsvorschläge für die Gesamtlösung entwickelt. Die Konstruktion der Einzelteile überschneidet sich dabei im allgemeinen mit der Optimierung der Gesamt-Kinematik, einerseits durch die Einzelteilgeometrie für die Kollisionsuntersuchungen benötigt werden, andererseits aber auch durch die Formgebung von bewegten Getriebegliedern oder von eingreifenden Werkzeugen einschränkende Bedingungen für die Bewegungsauslegung entstehen.

Im Mittelpunkt der Maschinenentwicklung steht das Produkt und seine Verarbeitung. In jeder Branche gibt es spezifisches Know-How, wie jeder Produkttyp und seine Komponenten zu behandeln sind, ohne daß sie zum Beispiel beschädigt oder deformiert werden. Für die Bearbeitung ergeben sich hieraus bestimmte Sachzwänge, beispielsweise die Form oder die Bewegungsansteuerung der Werkzeuge betreffend. Prinzipiell kann es mehrere grundlegende Bearbeitungsprinzipien für ein Produkt geben, so daß eine Auswahl für das voraussichtlich am sichersten funktionierende und das am besten umsetzbare Prinzip getroffen werden muß.



Die Praxis zeigt, daß derartige Grundsatzentscheidungen vielfach erst im nachhinein getroffen werden, wenn ein grundsätzliches Bearbeitungsprinzip sich in einer oder auch mehreren Generationen einer Maschine als nachteilig erwiesen hat oder der Lösung einer Mitbewerberfirma unterlegen ist. Wenn aber leistungsfähige Werkzeuge zur schnellen und komfortablen Berechnung und Simulation komplexer Mechanismen verfügbar sind, können derartige Entscheidungen innerhalb sehr kurzer Zeit mit fundierter Informationsgrundlage fallen.

Aus der Wirkungsweise des verwendeten Grundprinzips und den technologischen Bedingungen des Produktes entwickelt der Ingenieur einen Plan, wie sämtliche Werkzeuge und Hilfsbewegungen für die Produktbearbeitung zusammenwirken müssen. Beim Entwurf dieses Prototypen für den Bewegungsplan sollten von vornherein alle erkennbar notwendigen oder zweckmäßigen Bedingungen dokumentiert werden, um die Umsetzung in ein Bewegungsdiagramm zu erleichtern. Die Festlegung der Prinziplösungen entscheidet schließlich über die Feinstruktur des Bewegungsplans. Der Inhalt, also die Gestalt der einzelnen Bewegungsverläufe, ist Gegenstand der weiteren Optimierung.

In dieser Phase besteht das Ziel darin, für die einzelnen Eingriffe mit Hilfe normierter Gesetze Bewegungsverläufe zu erzeugen, die ruckfrei sind, geringe Maximalbeschleunigungen erzeugen, stetige Ruckfunktionen mit geringen Extremwerten besitzen, schwingungs- und geräuscharm sind und zunächst alle im Bewegungsplan festgehaltenen Nebenbedingungen einhalten. In einem Vorentwurfsschritt wird dieser Plan direkt in ein Diagramm überführt, in dem für jede Größe im Bewegungsplan ein entsprechender Bewegungsverlauf konstruiert wird, der die Vorgaben und die dokumentierten Kollisionsbedingungen grob einhält.

Üblich ist die Verwendung normierter Bewegungsgesetze nach der VDI-Richtlinie 2143/1. Darüber hinaus werden von Software-Werkzeugen für Kurvenberechnungen weitere Bewegungsgesetze mit teilweise sehr viel leistungsfähigeren, aber auch komplexeren Möglichkeiten zur detaillierten Beschreibung des gewünschten Bewegungsverlaufs angeboten (zum Beispiel Polynominterpolatoren, Splines, allgemeine trigonometrische Bewegungsgesetze). Diese Möglichkeiten können zur Reduzierung der Beschleunigungen, der Ruckfunktionsextrema, der Schwingungsanregung und gleichzeitig zur besseren Einhaltung aufgabenspezifischer Kriterien verwendet werden.

Diesem ersten Vorentwurf schließt sich eine Voroptimierung an. Ziel ist es, im Rahmen der formulierten Bedingungen für die Bewegungsverläufe untereinander sämtliche Einzelbewegungen derart gegeneinander abzuwägen, daß alle angesteuerten Einzelgetriebe mit gleicher Intensität belastet werden. Das wesentliche Merkmal dieser Voroptimierung ist, daß sie - mit graphischen und auch rechnerischen Methoden - auf globaler Maschinenebene stattfindet, das heißt es werden sämtliche Bewegungen gleichzeitig aufeinander abgestimmt.

Die Komplexität dieser Aufgabe ist gewaltig. Derartige Optimierungen werden in der Praxis bisher über Jahre oder gar Jahrzehnte hinweg durch ständige Veränderungen an der bestehenden Maschine durchgeführt. Der Entwickler ist aber daran interessiert, möglichst früh ein ausgereiftes Stadium zu erreichen, um Kosten zu sparen und insbesondere die entstehenden Wettbewerbsvorteile sofort nutzen zu können. Ihm ist daher der Einsatz komfortabler Softwarewerkzeuge zu empfehlen, mit denen derartige Optimierungen innerhalb von Stunden durchgeführt werden können.

Den optimalen Überblick über die Bewegungsabläufe hat der Entwickler in einer gleichzeitig graphischen und numerischen Simulation der Gesamtgetriebes mit allen bewegten und feststehenden Werkzeugen und Getriebegliedern. Die Geometrie der bewegten Getriebeglieder wird dabei zweckmäßigerweise über eine CAD-Schnittstelle vom jeweils verwendeten CAD-System übernommen. Das Ziel dieser Simulation besteht darin, durch Variation im wesentlichen des Bewegungsdiagramms, aber auch der kinematischen Abmessungen der Einzelgetriebe und der kollisionsgefährdeten Bauteilgeometrie sämtliche Bewegungen so aufeinander abzustimmen, daß alle im Bewegungsplan formulierten Kollisionsbedingungen möglichst knapp eingehalten werden.

Diese Phase der Optimierung ist für die Auslegung des komplexen Gesamtbewegungssystems am wichtigsten. Da die produktspezifischen Erfordernisse aber ständig im Auge behalten werden müssen, kann sie kompetent nur durch erfahrene Entwicklungsingenieure durchgeführt werden. Werkzeuge zur Analyse und Optimierung komplexer Mechanismen und Bewegungsabläufe sollten ihnen daher möglichst unmittelbar zur Verfügung stehen.