

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Lösung von Bewegungsaufgaben
mit symmetrischen Koppelkurven
Führungsaufgaben – Geradfürungen

Solution of motion problems using
symmetrical coupler curves

Problems of guidance – straight line

VDI 2728
Blatt 2 / Part 2

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note.....	2
Einleitung	2	Introduction.....	2
1 Anwendungsbereich	4	1 Scope	4
2 Begriffe	5	2 Terms and definitions	5
3 Formelzeichen und Abkürzungen	6	3 Symbols and abbreviations	6
4 Entwurf von Geradfürungsgetrieben mit ausgeglichener Geradfürung	6	4 Design of mechanisms generating equalized straight-line guidance	6
4.1 Problembeschreibung.....	6	4.1 Task description.....	6
4.2 Geradfürungsberechnung und Auswahlnomogramme	10	4.2 Straight-line guidance calculation and selection nomograms	10
4.3 Typische Lösungsvarianten.....	14	4.3 Typical solution variants.....	14
4.4 Praktisches Anwendungsbeispiel.....	16	4.4 Example of practical application	16
5 Sonderfälle symmetrischer Geradfürungsgetriebe	19	5 Special cases of symmetrical straight-line guidance mechanisms	19
5.1 Geradfürungsgetriebe mit $\kappa = 0^\circ$	19	5.1 Straight-line guidance mechanisms where $\kappa = 0^\circ$	19
5.2 Geschlossene Geradfürungen	23	5.2 Closed straight-line guidance mechanisms	23
Anhang A Auswahlnomogramme für ausgeglichene Geradfürungen	26	Annex A Selection nomograms for equalized straight-line guidance mechanisms	26
Anhang B Berechnungsgleichungen für ausgeglichene Geradfürungen; Koppelwinkel κ nicht vorgegeben.....	29	Annex B Calculation equations for equalized straight-line guidance mechanisms; coupler angle κ not specified	29
Anhang C Berechnungsgleichungen für ausgeglichene Geradfürungen; Koppelwinkel $\kappa = 0^\circ$ vorgegeben.....	32	Annex C Calculation equations for equalized straight-line guidance mechanisms; coupler angle $\kappa = 0^\circ$ specified.....	32
Anhang D Berechnungsgleichungen für geschlossene Geradfürungen.....	33	Annex D Calculation equations for closed straight-line guidance mechanisms	33
Schrifttum	35	Bibliography	35

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Getriebe und Maschinenelemente

VDI-Handbuch Getriebetechnik I: Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2728.

Einleitung

Mit den in VDI 2728 Blatt 1 beschriebenen symmetrischen Koppelkurven viergliedriger Gelenkgetriebe können auch „angenäherte Geradfürungen“ großer Güte realisiert werden. Die vorliegende Richtlinie will Unterstützung bei der Maßsynthese von Geradführungsgetriebenen anbieten, die eine bezüglich der *y*-Achse spiegelsymmetrische Koppelkurve haben (Bild 1). Die theoretisch maximal sechs möglichen Schnittpunkte einer Geraden mit einer Koppelkurve können unter dieser Symmetriebedingung mit relativ geringem Aufwand für die Auslegung eines Geradführungsgetriebes nutzbar gemacht werden. Wegen der Koppelkurvensymmetrie vereinfachen sich einerseits zwar die Berechnungsgleichungen, andererseits können deswegen aber auch nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden, das Gelenkviereck optimal an die Aufgabenstellung anzupassen.

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the internet at www.vdi.de/2728.

Introduction

Even “approximate straight-line guidance mechanisms” of high quality can be constructed using the symmetrical coupler curves of four-bar mechanisms described in VDI 2728 Part 1. The present standard is intended to provide assistance in the dimensional synthesis of straight-line guidance mechanisms with a coupler curve which is mirror-symmetric with regard to the *y* axis (Figure 1). The theoretical maximum of six possible intersection points of a straight line with a coupler curve can under this condition of symmetry be made useful with relatively little effort for the design of a straight-line guidance mechanism. Although the coupler curve symmetry does on the one hand simplify the calculation equations, it does not on the other hand mean that all possibilities of adjusting the four-bar linkage optimally to the problem formulation in question are exhausted.

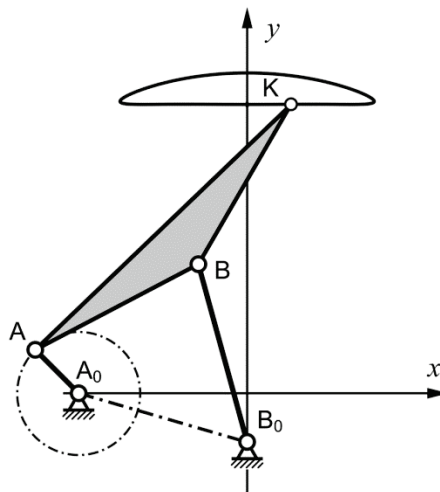


Bild 1. Gleichschenklige Kurbelschwinge mit symmetrischer Koppelkurve

Figure 1. Equal-legged crank-rocker linkage with symmetrical coupler curve

Jede Koppelkurve lässt sich nach dem Satz von Roberts durch zwei weitere Gelenkvierecke erzeugen. Die äquivalenten Getriebe zur Erzeugung einer symmetrischen Koppelkurve sind eine symmetrische Doppelschwinge und zwei abmessungsgleiche gleichschenklige Kurbelschwingen. Aufgrund der Ähnlichkeitsbeziehungen können diese beiden Getriebetypen mit einem einheitlichen Formelwerk berechnet werden. In dieser Richtlinie wird vorrangig die gleichschenklige Kurbelschwinge mit voll drehfähiger Kurbel betrachtet.

Der inhaltliche Schwerpunkt liegt bei Geradföhrungen, die den Bedingungen der „Tschebyscheff-Approximation“ genügen [1 bis 7]. Die in Nomogrammen dargestellten Abmessungen „ausgeglichener Geradföhrungsgetriebe“ vermitteln einen schnellen Überblick über infrage kommende Lösungen; für eine durch Länge und Abweichung definierte Geradföhrung können dort die Abmessungen des Lösungsgetriebes entnommen werden. Die Eigenschaften eines Getriebes, z.B. die Geradföhrungsgüte, die BaugröÙe oder der Übertragungswinkel, werden durch Kennwerte ausgedrückt, die als Kurven in den Nomogrammen aufgetragen sind. Auf der Basis der beigefügten Formelsammlung können die abgelesenen Getriebeparameter auch bei Bedarf mit erhöhter Genauigkeit berechnet werden.

Die Norm der gleichmäßigen Approximation wird auch in bestimmten Sonderfällen erfüllt, z.B. von ausgeglichenen Geradföhrungsgetrieben, bei denen der beschreibende Koppelpunkt auf der Koppelgeraden selbst liegt, und von „geschlossenen“ Geradföhrungen, bei denen die Koppelkurve vollständig zwischen zwei eng zusammenliegenden parallelen Geraden verläuft. Die beiden letztgenannten Getriebevarianten sind durch nur einen Parameter vollständig bestimmt, sodass zur Darstellung ihrer Geradföhrungseigenschaften ein einziges Diagramm genügt.

Einige andere Sonderfälle werden in der vorliegenden Richtlinie nicht näher betrachtet. Neben Koppelkurven mit nur einem angenähert geradlinig verlaufenden Teilstück gibt es auch solche, die zwei angenähert gerade Kurvenbereiche mit jeweils vierpunktiger Tangente aufweisen. So können die beiden Scheitel einer symmetrischen Koppelkurve jeweils zu Flachpunkten werden. Dann liegt eine angenäherte Parallelgeradföhrung vor. Auch bei V-förmigen Koppelkurven kann durch die Wahl der Getriebeabmessungen erreicht werden, dass zwei angenähert gerade Flanken mit vierpunktigen Tangenten entstehen [8]. Ferner sind die zweispitzigen Koppelkurven, die den Bedingungen der gleichmäßigen Approximation genügen können, aber innerhalb des Toleranzbands ein Stück zurücklaufen, nicht berücksichtigt worden.

According to Roberts' theorem each coupler curve can be generated by two additional four-bar linkages. The equivalent mechanisms for generating a symmetrical coupler curve are a symmetrical double rocker and two dimensionally identical equal-legged crank-rocker linkages. Due to their similarities these two types of mechanism can be calculated using a uniform system of formulas. In this standard it is the equal-legged crank-rocker linkage with a fully rotatable crank which will come primarily under consideration.

The content focuses on straight-line guidance mechanisms which satisfy the conditions of the “Chebyshev approximation” [1 to 7]. The dimensions of “equalized straight-line guidance mechanisms” plotted in nomograms provide a rapid overview of possible solutions; here the dimensions of the solution mechanism can be read off for a straight-line guidance defined by length and deviation. The properties of a mechanism, for example, the quality of straight-line guidance, its size or transmission angle, are expressed by characteristic values which are plotted on the nomograms as curves. The mechanism parameters read off can also if required be calculated with greater precision on the basis of the collection of formulas provided here.

The standard of uniform approximation is also satisfied in certain special cases, such as, for example, equalized straight-line guidance mechanisms in which the describing coupler point lies on the coupler line itself, and “closed” straight-line guidance mechanisms in which the coupler curve runs entirely between two closely parallel straight lines. The two mechanism variants last mentioned are fully determined by just one parameter, which means that a single diagram suffices to display their straight-line guidance properties.

Some other special cases will not be considered in more detail in the present standard. In addition to coupler curves with only one component running approximately in a straight line there are also others which have two approximately straight curve areas in each case with a four-point tangent. In this way the two crests of a symmetrical coupler curve can in each case become flat points. We then have an approximate parallel straight-line mechanism. Even with V-shaped coupler curves, two approximately straight flanks with four-point tangents can be obtained via an appropriate selection of mechanism dimensions [8]. Neither have bicuspid coupler curves been considered which can satisfy the conditions of uniform approximation but which run back to a certain extent within the tolerance range.