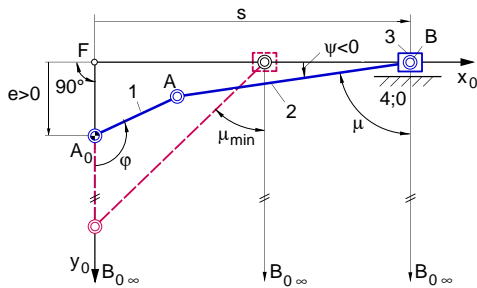


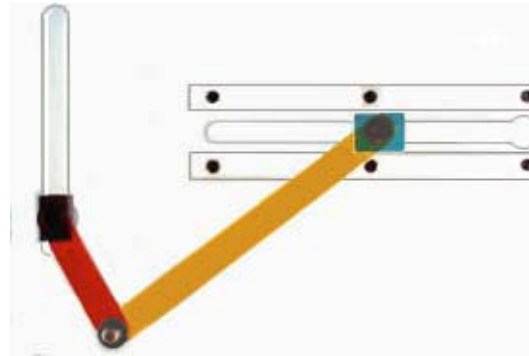
Ebene Schubkurbel mit einstellbarer Versetzung

248

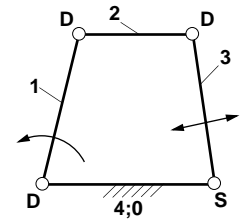
- Übertragungsgetriebe zur Umwandlung einer umlaufenden Drehung in eine schwingende Schiebung
- Ebenes viergliedriges Kurbelgetriebe



a) Kinematisches Schema



b) Getriebemodell



c) Strukturbild

Bild 1. Ebene Schubkurbel

Symbole im Strukturbild:

D für Drehung **S** für Schiebung **W** für Schraubung (Windung) ↻ Antriebsgelenk; ↔ Abtriebsglied
Beispiel **D₂S**: Gelenk mit dem Freiheitsgrad 3; 2 Drehungen, 1 Schiebung

Zugriffsmerkmale:

- Anzahl der Antriebsgelenke: 1, davon 1 am Gestell
- Anzahl der Abtriebsglieder : 1, davon 1 am Gestell
- Anzahl der Glieder : 4, davon 4 binär
- Anzahl der Gelenke : 4, davon 3 Drehgelenke(D)
1 Schubgelenk (S)

Abmessungen: (in Längeneinheiten)

$\overline{A_0A} = l_1 = 1$ $\overline{AB} = l_2 = 2,6$
Versetzung: $\overline{A_0F} = e = 0$ für die nichtversetzte Schubkurbel
 $\overline{A_0F} = e = 0,8$ für die versetzte Schubkurbel

Erläuterung:

Das Modell des ebenen Getriebes nach **Bild 1** stellt ein viergliedriges Kurbelgetriebe $A_0ABB_{0\infty}$ dar, dessen Glied 1 die kleinste Länge $l_1 = l_{\min}$ besitzt und dessen Gestellgelenkpunkt A_0 auf einer Geraden senkrecht zur Schubrichtung des Schiebers 3 verschiebbar ist, so dass sich unterschiedliche Versetzungen e einstellen lassen. Der senkrechte Abstand des Punktes A_0 von der Schubgeraden (Fußpunkt F) ist die Versetzung $e = \overline{A_0F}$. Bei jeder einstellbaren Versetzung bleibt die Umlauffähigkeitsbedingung, $l_2 - l_1 > e$, erhalten, so dass es sich stets um eine Schubkurbel handelt, deren Glied 1 als Antriebskurbel im Gestell beliebig oft umlaufen kann. Das mit einem Schubgelenk im Gestell gelagerte Getriebeglied 3, das von der Kurbel 1 über die Koppel 2 angetrieben wird, führt eine schwingende Schiebung zwischen zwei Umkehrlagen aus (**Bild 2**). In der äußeren Totlage $A_0A_aB_aB_{0\infty}$ der Schubkurbel, in der sich Kurbel und Koppel in Strecklage befinden, gehört zum Kurbelwinkel φ_a der Schubweg s_a (**Bild 3**). In der inneren Totlage $A_0A_iB_iB_{0\infty}$, in der sich Kurbel und Koppel in Decklage befinden, liegt das Wertepaar (φ_i, s_i) vor. Wenn sich die Kurbel von der äußeren zur inneren Totlage im mathematisch positiven Sinn dreht, überstreicht sie den Kurbelbereichswinkel $\varphi_H = \varphi_i - \varphi_a$, während der Schieber den Hub $s_H = s_a - s_i$ durchläuft. Ein Maß für die kinematische Übertragungsgüte (Laufgüte) des Getriebes ist der Übertragungswinkel μ , der zwischen der Koppelgeraden AB und der Normalen auf die Schubrichtung des Schiebers gemessen

wird. Die Übertragungsgüte ist um so besser, je weniger der während der Kurbeldrehung veränderliche Übertragungswinkel $\mu = \mu(\varphi)$ von 90° abweicht.

Bei einer nichtversetzten (zentrischen) Schubkurbel liegt der Kurbeldrehpunkt A_0 auf der Bewegungsgeraden des Drehpunktes B . Der Hub der Schubkurbel ist $s_H = 2 l_1$, hier sind die Phasen für den Hin- und Rückhub gleich groß: $\varphi_H / (360^\circ - \varphi_H) = 1$. Bei gleichem Hub s_H lässt sich mit nichtversetzten Schubkurbeln eine bessere Übertragungsgüte als mit versetzten erreichen. Der kleinste Übertragungswinkel μ_{\min} tritt in den beiden Gestelllagen der Kurbel – hier steht die Kurbel senkrecht zur Schubgeraden des Schiebers (**Bild 1a**) – bei $\varphi = 90^\circ, 270^\circ$ in gleicher Größe auf:

$$\mu_{\min} = \mu(0^\circ) = \mu(180^\circ) = \arccos \frac{l_1}{l_2}$$

Liegt der Kurbeldrehpunkt nicht auf der Schubgeraden des Punktes B , so handelt es sich um eine versetzte (exzentrische) Schubkurbel. Der senkrechte Abstand des Punktes A_0 von dieser Geraden ist die Versetzung e .

Legt man das Getriebe so in ein x_0y_0 -Koordinatensystem, dass die Schubgerade des Punktes B mit der x_0 -Achse zusammenfällt und das Kurbelgelenk A_0 auf der y_0 -Achse liegt (**Bild 1a**), dann ergibt sich eine positiv versetzte Schubkurbel, wenn die y_0 -Koordinate des Punktes A_0 negativ ist. Für den Kurbelbereichswinkel beim Hinhub gilt $\varphi_H > 180^\circ$, d.h. der Antriebswinkelbereich der Kurbel für den Hinhub ist größer als für den Rückhub: $\varphi_H / (360^\circ - \varphi_H) > 1$. Der kleinste Übertragungswinkel tritt für $\varphi = 0^\circ$ auf:

$$\mu_{\min} = \mu(90^\circ)$$

Eine negativ versetzte Schubkurbel liegt vor, wenn die y_0 -Koordinate des Punktes A_0 positiv ist. Für den Kurbelbereichswinkel beim Hinhub gilt $\varphi_H < 180^\circ$ bzw. für das Phasenverhältnis $\varphi_H / (360^\circ - \varphi_H) < 1$. Der kleinste Übertragungswinkel tritt für $\varphi = 180^\circ$ auf:

$$\mu_{\min} = \mu(180^\circ)$$

Autor: Prof. Dr.-Ing. G. Dittrich
Vorveröffentlichung in [1] und Erstveröffentlichung im Internet am 30.05.2000

Übertragungsfunktionen und -winkel:

Mit den Abkürzungen

$$\lambda = \frac{l_1}{l_2} \quad \text{und} \quad \varepsilon = \frac{e}{l_2}$$

ergibt sich die Übertragungsfunktion 0. Ordnung als Schubweg s bezogen auf die Koppellänge l_2 zu

$$\frac{s}{l_1} = \sin\varphi + \frac{1}{\lambda} \cos\psi$$

Den Winkel ψ berechnet man nach

$$\begin{aligned} \sin\psi &= -\lambda \cos\varphi - \varepsilon ; \\ \cos\psi &= \sqrt{1 - (\lambda \cos\varphi + \varepsilon)^2} \end{aligned}$$

Die Ableitung der Übertragungsfunktion 0. Ordnung nach dem Antriebswinkel ergibt die Übertragungsfunktion 1. und 2. Ordnung:

$$\begin{aligned} \frac{s'}{l_1} &= \cos\varphi - \sin\psi \frac{\sin\varphi}{\cos\psi} = \frac{\cos(\varphi + \psi)}{\cos\psi} \\ &= \cos\varphi + \frac{\lambda \cos\varphi \sin\varphi}{\cos\psi} + \varepsilon \frac{\sin\varphi}{\cos\psi} ; \\ \frac{s''}{l_1} &= - \left[\sin\varphi + \cos\varphi \tan\psi + \frac{\lambda \sin^2\varphi}{\cos^3\psi} \right] \\ &= - \left[\frac{\sin(\varphi + \psi)}{\cos\psi} + \frac{\lambda \sin^2\varphi}{\cos^3\psi} \right] \end{aligned}$$

Die Übertragungsfunktionen der nicht versetzten Schubkurbel sind symmetrisch mit den beiden Totlagen bei $\varphi = 90^\circ$; 270° als Symmetriestellungen (**Bild 2**). Des Weiteren sind die Übertragungsfunktionen der positiv versetzten Schubkurbel bezüglich dieser Stellen symmetrisch zu denen der negativ versetzten mit betragsmäßig gleicher Versetzung und umgekehrt. So lassen sich aus der Übertragungsfunktion der positiv (negativ) versetzten Schubkurbel $s = s(\varphi)$ die Werte für die entsprechende negativ (positiv) versetzte Schubkurbel $s^* = s^*(\varphi^*)$ nach der Beziehung

$$s^*(\varphi^*) = s(360^\circ - \varphi)$$

berechnen.

Der Übertragungswinkel μ (**Bild 4**), mit $\mu \leq 90^\circ$, ergibt sich aus

$$\mu = \frac{\pi}{2} - |\psi| = \frac{\pi}{2} - \arccos \sqrt{1 - (\lambda \cos\varphi + \varepsilon)^2}$$

Totlagen-Größen:

Den Kurbelwinkel φ_a für die äußere Totlage der Schubkurbel (**Bild 3**) berechnet man für $0^\circ \leq \varphi_a \leq 180^\circ$ nach

$$\varphi_a = \frac{1}{2} \pi + \arcsin \frac{\varepsilon}{1 + \lambda}$$

Für den Kurbelwinkel φ_i für die innere Totlage gilt mit $90^\circ \leq \varphi_a \leq 180^\circ$

$$\varphi_i = \frac{2}{3} \pi + \arcsin \frac{\varepsilon}{1 - \lambda}$$

Für die Stellung des Schubgliedes 3 in den Totlagen gilt mit $\bar{s}_a = s_a/l_1$ bzw. $\bar{s}_i = s_i/l_1$

$$\bar{s}_a = \bar{s}(\varphi_a) = \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \sin\varphi_a = \sqrt{\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{\varepsilon}{\lambda}\right)^2} ;$$

$$\bar{s}_i = \bar{s}(\varphi_i) = \left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) \sin\varphi_i = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{\varepsilon}{\lambda}\right)^2}$$

Daraus ergibt sich der auf die Kurbellänge l_1 bezogene Hub zu

$$\bar{s}_H = \bar{s}_a - \bar{s}_i$$

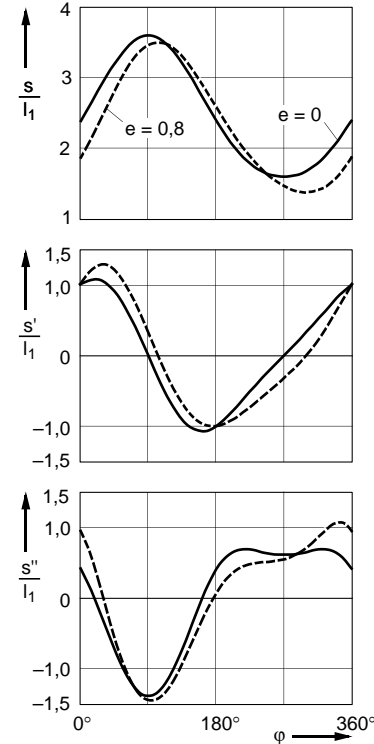


Bild 2. Übertragungsfunktionen 0. bis 2. Ordnung für $e = 0$ und $e = 0,8 \hat{=} \varepsilon = 0,3077$

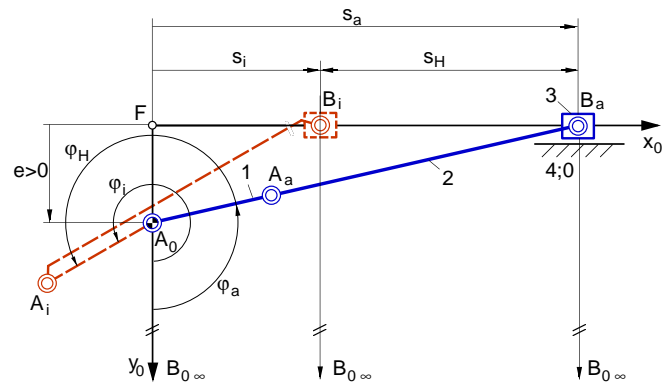


Bild 3. Versetzte Schubkurbel in den Totlagen

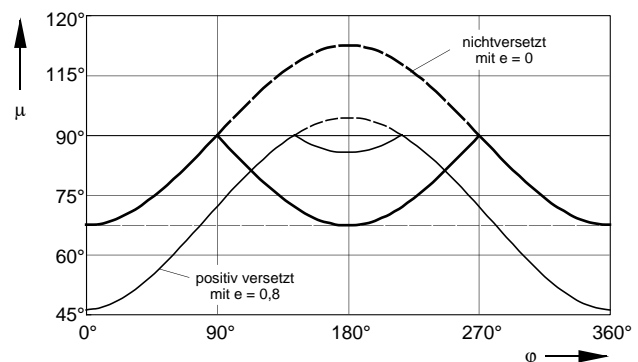


Bild 4. Übertragungswinkel μ

Literatur:

- [1] Dittrich, G.; Wehn, V.: Ebene Schubkurbel mit einstellbarer Versetzung. Der Konstrukteur 22 (1991) Nr. 3, S. 29/30.
- [2] Meyer zur Capellen, W.: Bewegungsverhältnisse an der geschränkten Schubkurbel. Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen Nr. 449. Köln: Westdeutscher Verlag 1958.