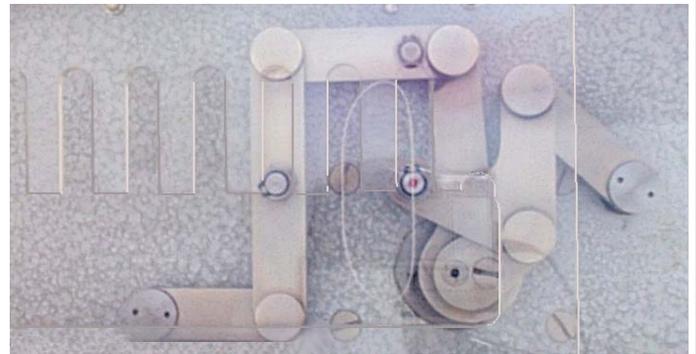
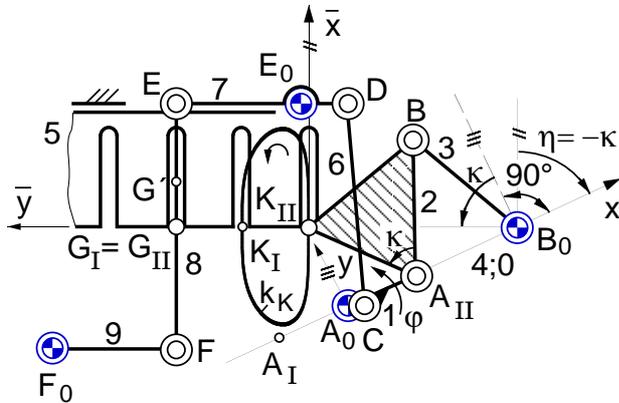


Schubschrittgetriebe

309

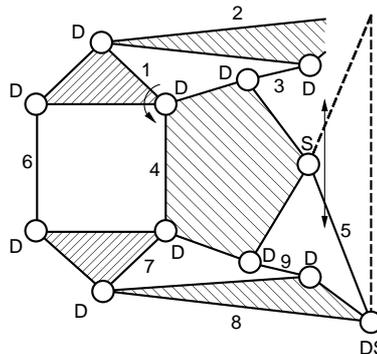
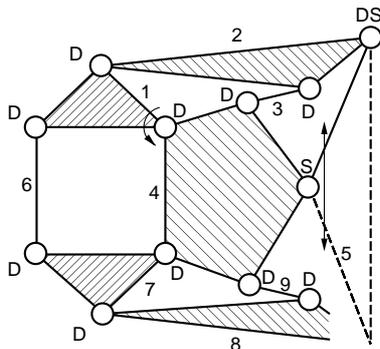
- Übertragungsgetriebe zur Umwandlung einer umlaufenden Drehung in eine periodisch durch Stillstände unterbrochene Schubbewegung

- Ebenes neungliedriges Kurbelgetriebe



a)

b)



c)

d)

Bild 1. Schubschrittgetriebe

- a) Kinematisches Schema
- b) Modellgetriebe
- c) Strukturbild während der Schrittbewegung des Abtriebsgliedes 5
- d) Strukturbild während des Stillstandes des Abtriebsgliedes 5

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 : 9, davon 1 quinternär, 3 ternär und 5 binär
 Anzahl der Gelenke : 12, davon 10 Drehgelenke (D), 1 Schubgelenk (S) und 1 Drehschubgelenk (DS)

Abmessungen (in Längeneinheiten):

$\overline{A_0A} \equiv l_1 = 1$; $\overline{AB} \equiv l_2 = 1,83$; $\overline{B_0B} \equiv l_3 = 1,83$;
 $\overline{A_0B_0} \equiv l_4 = 2,5$; $\overline{AK} \equiv k = 1,49$; $\overline{BK} \equiv 1 = 1,83$; $\sphericalangle CA_0A = 24,2^\circ$;
 $\overline{A_0C} = 0,2$; $\overline{CD} \equiv l_6 = 2,69$; $\overline{E_0D} = 0,59$; $\overline{E_0E} \equiv l_7 = 1,67$;
 $\overline{EF} \equiv l_8 = 3,33$; $\overline{EG} = \overline{FG} = 1,67$; $\overline{F_0F} \equiv l_9 = 1,67$;
 $\overline{A_0E_0} = 2,75$; $\sphericalangle B_0A_0E_0 = 78^\circ$; $\overline{A_0F_0} = 3,97$; $\sphericalangle B_0A_0F_0 = 165^\circ$.

Erläuterung:

Das Schubschrittgetriebe nach **Bild 1** erzeugt eine periodische, durch Stillstände unterbrochene Schubbewegung, die nach einer bestimmten Anzahl von Perioden durch einen Endschalter umgekehrt wird. Da der jeweilige Stillstand des Schiebers durch eine Sperre gesichert werden muss, besteht das Getriebe aus zwei Teilgetrieben A_0ABB_0 und $A_0CDE_0EFF_0$, die im stetigen Wechsel die Funktionen Schubbewegung bzw. Sperrung realisieren. Gemeinsames Antriebs- und Kopplungsglied der beiden Teilgetriebe

ist die um den Gestellpunkt A_0 umlaufende Kurbel 1. Das Abtriebsglied ist das im Gestell 4;0 gelagerte Schubglied 5, in dessen Schlitze je nach Funktion der Koppelknoten K des ersten Teilgetriebes oder der Koppelknoten G des zweiten Teilgetriebes von außen eingreift. Bei dem ersten Teilgetriebe A_0ABB_0 handelt es sich um eine gleichschenklige Kurbelschwinge mit $\overline{AB} = \overline{B_0B} = \overline{BK}$, deren Koppelknoten K eine symmetrische Koppelkurve k_K mit zwei Flachpunkten K_I und K_{II} parallel Tangente erzeugt. Für diese besonderen Eigenschaften der Koppelkurve kann das Verhältnis $v = l_4/(2l_3)$ und der Winkel $\kappa = \sphericalangle BAK$ in Abhängigkeit von $\lambda = l_1/l_4$ berechnet werden:

$$v \equiv l_4 / (2l_3) = \sqrt{A + \sqrt{A^2 + B}} \quad \text{mit}$$

$$A = \left[1 - \frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{1+\lambda}{1-\lambda} \right)^3 - \left(\frac{1-\lambda}{1+\lambda} \right)^3 \right] \right] \frac{1}{2(1-\lambda^2) + (1+\lambda)^3 + (1-\lambda)^3},$$

$$B = \frac{\lambda}{2} \left[\frac{1+\lambda}{(1-\lambda)^3} - \frac{1-\lambda}{(1+\lambda)^3} \right] \frac{1}{2(1-\lambda^2) + (1+\lambda)^3 + (1-\lambda)^3},$$

$$\kappa = \arctan \left[\frac{1}{1-\lambda} \left[\frac{1+\lambda \tan^2(\arccos(v-v\lambda))}{\tan(\arccos(v-v\lambda))} \right] \right].$$

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

Für $\lambda = 0,4$ ergeben sich die o.g. Abmessungen mit $\kappa = 65,8^\circ$. Die Punkte K_I und K_{II} , die zugleich Extremwerte der Koppelkurve bezüglich der \bar{y} -Achse (Symmetrieachse von k_K) sind, werden hierbei in der äußeren bzw. inneren Gestelllage der Kurbel A_0A_I bzw. A_0A_{II} durchlaufen. Der sich somit ergebende Hub $h = |K_I B_0 - K_{II} B_0|$ der Koppelkurve k_K entspricht dem Hub des Schubschrittgetriebes und somit auch den Abständen der Schlitze des Schubgliedes 5. Die Berechnung des Hubes (hier: $h = 0,9 l_1$) kann entsprechend der Getriebebeschreibung Nr. 611 durchgeführt werden.

Bei dem zweiten Teilgetriebe $A_0CDE_0EFF_0$ handelt es sich um den in der Getriebebeschreibung Nr. 610 vorgestellten Wattschen Lenker E_0EFF_0 mit einer vorgeschalteten Kurbelschwinge A_0CDE_0 . Von der ursprünglich achtförmigen Koppelkurve des Koppelpunktes G der Koppel 8 wird in diesem Fall nur der Bereich der angenäherten Geradführung des Punktes G verwendet, indem der Schwingbereichswinkel ψ_{7H} der Schwinge $\overline{E_0E}$, der identisch mit dem Schwingbereichswinkel der Schwinge $\overline{E_0D}$ ist, durch die Abmessungen der Kurbelschwinge A_0CDE_0 festgelegt wird.

Treibt man nun die Kurbel 1 aus der inneren Gestelllage A_0A_{II} im mathematisch positiven Umlaufsinn an, so greift ein im Koppelpunkt K befestigter Treiber in einen Schlitz des Schubgliedes 5 geradlinig ein, während eine im Koppelpunkt G befestigte Rolle des Wattschen Lenkers einen anderen Schlitz des Schubgliedes geradlinig verlässt. Während sich die Kurbel von der inneren Gestelllage A_0A_{II} bis zur äußeren Gestelllage A_0A_I dreht, durchläuft der Treiber die Koppelkurve k_K von K_{II} bis K_I , so dass das Schubglied 5 durch den Treiber um den Hub h in Richtung der \bar{y} -Achse bewegt wird. Die Sperrrolle im Koppelpunkt G ist dabei, von einer gewollten Überschneidung abgesehen, nicht im Eingriff. Für diese Schrittbeziehung ergibt sich eine Getriebestruktur gemäß Bild 1c. In der äußeren Gestelllage der Kurbel (A_0A_I) verlässt der Treiber den Schlitz, während die Sperrrolle in einen anderen Schlitz eingreift. Während sich die Kurbel von der äußeren zur inneren Gestelllage dreht, durchläuft die Sperrrolle die geradlinige Koppelkurve von G_I über G' bis G_{II} , so dass das Schubglied 5 eine Rastphase besitzt und durch die Sperrrolle gegen Verschieben gesichert wird. Für diese Rastphase, in der der Treiber nicht im Eingriff ist, ergibt sich eine Getriebestruktur gemäß Bild 1d.

Berechnung der Koppelkurve

Die Koordinaten der Bahnkurve k_K lassen sich in einem \bar{x}, \bar{y} -Koordinatensystem mit dem Ursprung in K_{II} in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel $\varphi = \sphericalangle B_0A_0A$ berechnen:

$$\begin{aligned} \bar{x}(\varphi) &= \bar{x}_0 + x_K(\varphi) \cos \eta - y_K(\varphi) \sin \eta, \\ \bar{y}(\varphi) &= \bar{y}_0 + x_K(\varphi) \sin \eta + y_K(\varphi) \cos \eta. \end{aligned}$$

Hierbei sind $x_K(\varphi)$ und $y_K(\varphi)$ die Koppelpunktkoordinaten des Punktes K bezüglich des x, y -Koordinatensystems mit dem Ursprung in A_0 (siehe Getriebebeschreibung Nr. 611). Mit \bar{x}_0 und \bar{y}_0 wird die Lage des Punktes A_0 im \bar{x}, \bar{y} -Koordinatensystem und mit η die Verdrehung der beiden Koordinatensysteme angegeben. Es gilt, auch hier unter Berücksichtigung von $l_2 = l_3$ mit $\eta = -\kappa$ und $\cos \psi_{7H} = (l_4 - l_2)/(2l_2)$, $\bar{x}_0 = -l_4 \cos \kappa$, $\bar{y}_0 = l_4 \sin \kappa - 2l_2 \sin(\psi_{7H} + \kappa)$.

Übertragungsfunktionen

Die Übertragungsfunktion 0. Ordnung, d.h. der auf den Hub h bezogene Abtriebsweg \bar{y}_5 des Schubgliedes 5, berechnet sich mit $n = 1, 2, \dots$ für den Bereich $\varphi \in [2(n-1)\pi; (2n-1)\pi]$ zu

$$\frac{\bar{y}_5(\varphi)}{h} = \frac{n}{h} [\bar{y}_0 - l_1 \sin \kappa \cos \varphi - k \sin \kappa \cos(\sigma + \kappa) + l_1 \cos \kappa \sin \varphi + k \cos \kappa \sin(\sigma + \kappa)],$$

$$\sigma = \varphi + \bar{\psi}_s + \bar{\psi}_t - \pi,$$

$$\cos \bar{\psi}_s = (l_1^2 + f^2 - l_4^2) / (2 l_1 f), \quad \sin \bar{\psi}_s = (l_4 \sin \varphi) / f,$$

$$\cos \bar{\psi}_t = f / (2 l_2) \quad \text{mit} \quad f = \sqrt{l_1^2 + l_4^2 - 2 l_1 l_4 \cos \varphi}.$$

Für den Bereich $\varphi \in [(2n-1)\pi; 2n\pi]$ gilt $\bar{y}_5(\varphi)/h = n$.

Die Übertragungsfunktion 1. Ordnung $\bar{y}'_5(\varphi)$ gibt den Verlauf der auf den Hub h und die Antriebswinkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ bezogenen Abtriebsgeschwindigkeit $\dot{\bar{y}}_5$ an.

Für $\varphi \in [2(n-1)\pi; (2n-1)\pi]$ gilt

$$\begin{aligned} \bar{y}'_5(\varphi) &= \frac{d\bar{y}_5}{hd\varphi} = \frac{\dot{\bar{y}}_5}{h\dot{\varphi}} = \frac{1}{h} [l_1 (\cos \kappa \cos \varphi + \sin \kappa \sin \varphi) \\ &\quad + k \cos \kappa \sigma' \cos(\sigma + \kappa) + k \sin \kappa \sigma' \sin(\sigma + \kappa)] \end{aligned}$$

mit $\sigma' = 1 + \bar{\psi}'_s + \bar{\psi}'_t$,

$$\bar{\psi}'_s = -\frac{l_4(l_4 - l_1 \cos \varphi)}{f^2}, \quad \bar{\psi}'_t = -\frac{l_1 l_4}{f} \frac{\sin \varphi}{\sqrt{4l_2^2 - f^2}}.$$

Für den Bereich $\varphi \in [(2n-1)\pi; 2n\pi]$ gilt $\bar{y}'_5(\varphi) = 0$.

Die Übertragungsfunktion 2. Ordnung $\bar{y}''_5(\varphi)$ spiegelt den Verlauf der auf den Hub h und das Quadrat der konstanten Antriebswinkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ bezogenen Abtriebsbeschleunigung $\ddot{\bar{y}}_5$ wieder. Für $\varphi \in [2(n-1)\pi; (2n-1)\pi]$ gilt

$$\begin{aligned} \bar{y}''_5(\varphi) &= \frac{d^2\bar{y}_5}{hd\varphi^2} = \frac{\ddot{\bar{y}}_5}{h\dot{\varphi}^2} = \frac{1}{h} [l_1 (\sin \kappa \cos \varphi - \cos \kappa \sin \varphi) \\ &\quad + k \cos(\sigma + \kappa) (\cos \kappa \sigma'' + \sin \kappa \sigma'^2) \\ &\quad + k \sin(\sigma + \kappa) (\sin \kappa \sigma'' - \cos \kappa \sigma'^2)] \end{aligned}$$

mit $\sigma'' = \bar{\psi}''_s + \bar{\psi}''_t$,

$$\bar{\psi}''_s = -\frac{l_1 l_4 (l_4^2 - l_1^2) \sin \varphi}{f^4},$$

$$\bar{\psi}''_t = \frac{(l_1 l_4 \sin \varphi)^2 (4l_2^2 - 2f^2)}{(f \sqrt{4l_2^2 - f^2})^3} - \frac{l_1 l_4 \cos \varphi}{f \sqrt{4l_2^2 - f^2}}.$$

Für den Bereich $\varphi \in [(2n-1)\pi; 2n\pi]$ gilt $\bar{y}''_5(\varphi) = 0$.

Die Übertragungsfunktionen sind in **Bild 2** dargestellt. Wie aus ihren Verläufen zu ersehen ist, liegt eine beschleunigungssprungfreie Schaltung des Schiebers vor.

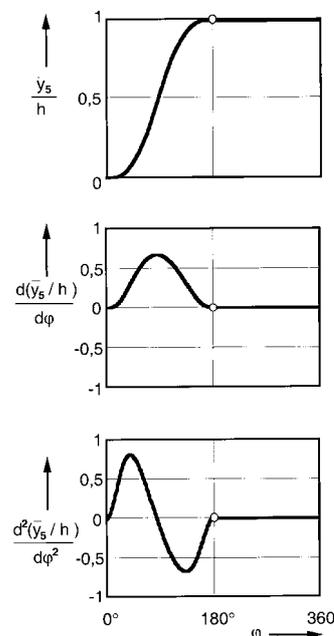


Bild 2: Übertragungsfunktionen des Schubschrittgetriebes

Literatur:

- [1] Dittrich, G., Müller, J.: Schubschrittgetriebe. Der Konstrukteur 24 (1993) Nr. 4, S. 51/52.
- [2] Janssen, B.: Anwendung symmetrischer Koppelkurven auf Rast- und Schrittgetriebe. VDI-Berichte Nr. 77. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1964.
- [3] Dittrich, G.; Müller, J.: Kurbelschwinge mit symmetrischen Koppelkurven. Der Konstrukteur 23 (1992) Nr. 5, S. 53-54.
- [4] Dittrich, G.; Müller, J.: Wattscher Lenker, Evans-Lenker.. Der Konstrukteur 23 (1992) Nr. 1-2, S. 39-40