Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 21/22 (1893)

Heft: 19

Inhaltsverzeichnis

Ueber die Regulierung von Turbinen.

Von *Aurel Stodola*, Professor am eidg. Polytechnikum in Zürich.

III.

II. Regulierung mit langsam wirkendem Hilfsmotor.

Das Wesen dieser Regulierungsart ergibt sich aus folgender Betrachtung. Bezeichnen wir mit S jenen Punkt des Regulators, auf den sich der Hub s desselben bezieht. Mit dem Hilfsmotor, der den Regulierschieber bethätigt, denken wir uns einen ideellen, widerstandslosen Mechanismus von solcher Beschaffenheit verbunden, dass ein Punkt S' desselben in unmittelbarer Nachbarschaft des Punktes S eine mit diesem kongruente Bahn beschreibt und im Beharrungszustande mit S zusammenfällt. Der Hub von S' werde mit s' bezeichnet, und von demselben Anfangspunkte aus gerechnet, wie s, so dass für den Beharrungszustand stets $s' = s$, und insbesondere für den Anfangszustand $s' = s_0$ ist. Sowohl s wie s' sollen nach jener Richtung als positiv zählen, für welche einem Wachsen der Geschwindigkeit eine Zunahme der beiden entspricht. Bewirkt der Regulator infolge einer Belastungsänderung eine Verschiebung des Punktes S nach irgend einer Richtung, so nimmt der Punkt S' sofort eine Bewegung in gleichem Sinne an, allein mit einer durch den Hilfsmotor bedingten Geschwindigkeit, die verschieden ist von derjenigen von S. Die Bewegung und damit die Regulierung dauern so lange an, bis S' wieder mit S zusammenfällt. Bewegt sich S zurück, muss auch S' ihm folgen.

Das Charakteristische der Anordnung besteht also darin, dass so lange als $s' = s$, der Hilfsmotor in Ruhe verharrt; dass hingegen eine Bewegung im Sinne von S eintritt, wenn $s' \gtrless s$ ist. Dieses Verhältnis kann für die Rechnung am bequemsten dargestellt werden durch die Annahme

$$\frac{ds'}{dt} = \sigma_0 \frac{s - s'}{s_0} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (30)$$

d. h. durch die Voraussetzung, die Geschwindigkeit des Punktes S' sei proportional dem Abstande der Punkte S und S' von einander. Da $(s - s')$, wenn $s' > s$ ist, negativ wird, ist durch den Ausdruck (30) auch der Bewegungssinn richtig dargestellt.

Der Hub des statischen und als massenlos vorausgesetzten Regulators ist eine Funktion der Turbinengeschwindigkeit und kann für kleine Aenderungen der letzteren einfach proportional gesetzt werden, d. h. wir können annehmen

$$\frac{s - s_0}{s_0} = \alpha \frac{v - v_0}{v_0} = \alpha\, x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (31)$$

Wir führen jetzt eine neue Variable ein, definiert durch die Gleichung

$$\frac{s' - s_0}{s_0} = \alpha\, w \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (32)$$

Es ist somit w eine reine Zahl, proportional der „prozentischen" Aenderung des Hubes s'. Wir schreiben die Gleichung (30) nun in der Form:

$$\frac{ds'}{dt} = \sigma_0 \left[\frac{s - s_0}{s_0} + \frac{s_0 - s'}{s_0} \right];$$

ferner setzen wir:

$$T_0 = \frac{s_0}{v_0'},$$

und führen diese Grösse, sowie x und w in den Ausdruck für $\frac{ds'}{dt}$ ein. Dies ergiebt

$$T_0 \frac{dw}{dt} = x - w \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (33)$$

Die mechanische Bedeutung der Grösse T_0 erhellt aus folgendem: Die Geschwindigkeit $\frac{ds'}{dt}$ ist am grössten, wenn die Differenz $s - s'$ ein Maximum geworden ist. Dies findet statt, wenn sich der Punkt S in der oberen, und S' in der unteren Grenzlage befindet, oder umgekehrt. Dann ist aber $s - s'$ gleich dem ganzen Hube des Regulators, den wir vorübergehend mit s_r bezeichnen wollen, und wir haben

$$\left(\frac{ds'}{dt}\right)_{max} = \sigma_0 \frac{s_r}{s_0}; \text{ hieraus } T_0 = \frac{s_r}{\left(\frac{ds'}{dt}\right)_{max}} \quad (34\,a)$$

d. h. T_0 *ist jene Zeit, welche der Hilfsmotor benötigen würde, um alle Leitkanäle zu schliessen (oder zu öffnen), wenn die ganze Bewegung mit der maximalen Geschwindigkeit vor sich ginge.* Wir wollen T_0 der Kürze halber die **„Regulierungsdauer"** nennen. $\frac{1}{T_0}$ bildet dann einen Masstab für die **„Regulierungsgeschwindigkeit"**. Man findet für die wirkliche Zeitdauer, während welcher der Weg $s_2' - s_1'$ bei konstantem s beschrieben wird, durch Integration den Wert

$$t_0 = T_0 \log n \frac{s_1' - s}{s_2' - s}.$$

Beträgt die Differenz $s_2' - s$ in der Endlage z. B. $^1/_{100}$ der anfänglichen Differenz $s_1' - s$, so wird $t_0 = 4{,}6\ T_0$; hingegen für $s_2' - s = 0$ wird $t_0 = \infty$, d. h. das letzte Wegelement, welches den Punkt S' zum Zusammenfallen mit S bringt, wird erst in unendlich langer Zeit zurückgelegt. Diese Eigentümlichkeit der obigen Formel stellt in ziemlich richtiger Weise den bei jedem Hilfsmotor vorhandenen „toten Gang" dar, welcher (unterstützt durch die Ueberdeckung der Steuerorgane) bewirkt, dass der Motor nie genau in die dem Regulatorhube entsprechende Lage gelangen kann, sondern stets etwas über oder unter derselben stehen bleiben muss.

Für jene Motoren, welche, wie die Klinkenmechanismen, mit konstanter Geschwindigkeit regulieren, werden die zu entwickelnden Formeln nur beschränkte Gültigkeit besitzen. Man kann etwa das oben berechnete t_0, welches die Zeit zum Schliessen von 99 % aller Leitkanäle darstellt der faktischen Schliessungsdauer dieser Motoren gleich setzen, oder auch den Wert von T_0 lediglich durch Schätzung bestimmen.

Die anderen Hauptgleichungen lassen sich aus den im ersten Abschnitt entwickelten leicht herleiten.

Für die Bewegung der Schwungmasse gilt, wie dort:

$$\frac{M v_0}{P_0} \frac{dx}{dt} = \frac{P - Q}{P_0} = \Pi + \frac{f - f_0}{f_0} - \frac{v - v_0}{v_0} + 3\, \frac{u - u_0}{u_0}$$

Wegen der relativen Unabhängigkeit der Punkte S und S' von einander, ist der Querschnitt f unmittelbar nur eine Funktion von s', welche wir für kleine Aenderungen wieder linear voraussetzen können. Es wird demnach

$$\frac{f - f_0}{f_0} = -\beta \frac{s' - s_0}{s_0} = -\alpha\beta\, w.$$

Hierin ist $\alpha\beta$ = dem Koefficienten α_0 des vorigen Abschnittes, denn im Beharrungszustande ist $w = x$, also

$$\frac{f - f_0}{f_0} = -\alpha\beta\, x = -\alpha_0\, x.$$

Mit obigem Wert für die Querschnittsänderung und mit den Bezeichnungen des ersten Abschnittes ergiebt sich dann

$$T_1 \frac{dx}{dt} = \Pi - \alpha_0 w - x + \frac{3}{2} z.$$

Die Gleichung für die Beschleunigung der Druckwassersäule bleibt ungeändert, und in der Gleichung für die Schwankung des Windkessel-Wasserspiegels ist bloss x durch w zu ersetzen. Wir erhalten demnach das folgende System von Grundgleichungen: