

und dass jeder Versuch, sein Verhalten theoretisch zu bestimmen, fehlschlagen muss. Dagegen lassen sich einige wenige charakteristische Grenzfälle herausgreifen, aus denen brauchbare Verhaltensmassregeln für die Praxis abgeleitet werden können.

1. Als erster Fall werde eine Regulierung betrachtet, welche für Steuerungen ohne Rückwirkung nahezu ideal ist, nämlich ein hochempfindlicher Federregulator mit kleinen Massen, hoher Umdrehungszahl, geringem Ungleichförmigkeitsgrad und ohne Oelbremse. Derselbe reguliere eine Aus-

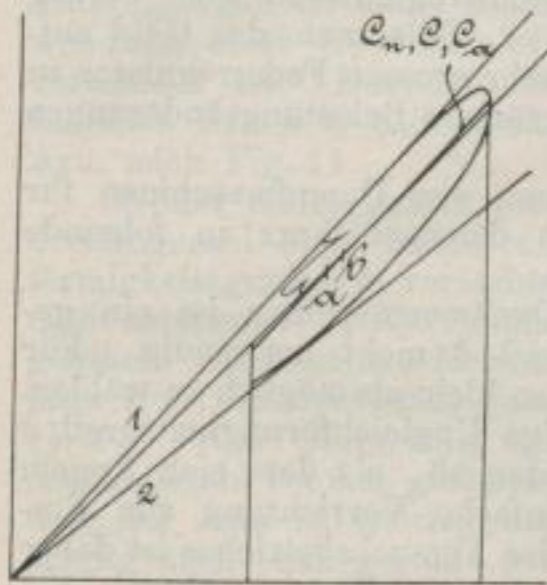


Fig. 12.

selbe nahezu reibungsfrei ist, bewegt er sich unter den Schwingungsgesetzen des Ungleichförmigkeitsgrades. Es wäre aber ein grosser Zufall, wenn er zufolge harmonischer Abstimmung von Ungleichförmigkeitsgrad, Umdrehungszahl u. s. w. gerade nach einer halben Maschinenumdrehung wieder auf seinem alten Platze wäre. Daran ist unter den vorausgesetzten Bedingungen kaum zu denken. Er wird vielmehr den nächsten Steuerungsanstoss etwa bei *b* erhalten, was infolge zu grosser Füllung ein Steigen der Umdrehungszahl hervorruft. Nun folgen verschiedene Schwingungen bei wachsender Umdrehungszahl, welche gegen den Steuerungsdruck den Regulator ruckweise wieder in die Höhe bringt. Infolge seiner Widerstandslosigkeit fliegt er dabei in der Regel zu weit bis an die obere Hubbegrenzung, wo er dann eine vollständige Nullfüllung hervorruft. Unter dem gemeinschaftlichen Einfluss des durch die Nullfüllung hervorgerufenen Abfalles der Umdrehungszahl und des nach unten wirkenden Steuerungsdruckes erfolgt eine heftige Niederschwingung mit einem kräftigen Stoss gegen die untere Hubbegrenzung, worauf das allmähliche in die Höhe klettern wieder beginnt und das Spiel sich in wunderbarer Regelmässigkeit wiederholt (Verfasser hatte Gelegenheit, solche Regulierungen zu beobachten). Obwohl theoretisch in dem betrachteten Falle nur etwa 1 1/2 % Schwankungen der Umdrehungszahl ($\delta + \epsilon$) eintreten sollen, so treten in Wirklichkeit selbst bei gleichbleibender Belastung Schwankungen von beinahe 10 % auf, wie die Tangenten 1 und 2 in Fig. 12 zeigen.

Ohne weitere Untersuchungen ist einzusehen, dass eine derartige „empfindliche“ Regulierung unbrauchbar ist, wobei es nicht darauf ankommt, ob die in Fig. 12 skizzierte Form der Regulatorbewegungen genau der Wirklichkeit entspricht, oder etwas davon abweicht.

2. Für dieselbe Steuerung werde ein schwerer belasteter Watt-Regulator oder ein Kley-Regulator mit Oelbremse gewählt. Für diese Regulatoren ist die zur Ueberwindung der Eigenreibung notwendige Kraft schon etwas grösser, als in dem soeben betrachteten Falle, aber noch mässig, so dass die C_n - und C_a -Kurven in Fig. 13 entstehen. Innerhalb des von denselben eingeschlossenen Gebietes kann der Regulator keine selbständigen Bewegungen ausführen. Da die Steuerung denselben fortwährend nach unten drängt, so steigt infolge der vergrösserten Füllung die Umdrehungszahl so lange, bis die Zentrifugalkraft auf ungefähr C_a' angewachsen ist, und der Regulator wieder die Stellung einnimmt, welche Gleichgewicht zwischen von der Dampfmaschine erzeugter und von der Arbeitsmaschine verbrauchter Arbeit bedingt. Damit ist die Reibung beinahe eliminiert, und der Regulator schwingt unter dem Einfluss der Steuerung herunter und durch den Ungleich-

förmigkeitsgrad wieder zurück. Da die Regulatormasse gross ist, und die Oelbremse, sowie ein Teil der Reibung dämpfend wirken, sind die Schwingungen klein. Ist die richtige Harmonie zwischen den verschiedenen Regulatorgrössen (einschliesslich seiner Bremsung) nicht vorhanden, so schwingt der Regulator nicht in seine Ausgangsstellung zurück, und das Spiel des ersten Falles wiederholt sich hier, allerdings in weit kleinerem Massstabe und innerhalb enger Grenzen, wodurch gewisse Schwingungsperioden entstehen. Sind aber Regulatormassen, Ungleichförmigkeitsgrad, Steuerungsdruck, Bremsung u. s. w. in richtigem Verhältnis, so tritt der ideale Fall ein, dass etwa nach Fig. 14 der Regulator sich so einstellt, dass er infolge eines Ueberschusses an Zentrifugalkraft 1, 2 herauf- und infolge des Steuerungsdruckes herunterschwingt, und dass trotz der Regulatorschwingungen keine Maschinenschwingungen entstehen. Dabei ist die Umdrehungszahl etwas grösser, als derjenigen des reibungsfreien Regulators entspricht. Diese Regulierung hält demnach, obwohl sie nach der alten Regulatortheorie weniger „empfindlich“ ist als Fall 1, die Umdrehungszahl weit besser aufrecht.

3. Derselbe Regulator habe eine zwangsläufige Ventil- oder Schiebersteuerung mit Rückwirkung nach beiden Seiten zu regulieren. Die Schwingungen hängen von Dauer und Periode der Rückwirkung ab im Verein mit allen massgebenden Regulatorgrössen. Allgemein lässt sich hierüber nur bemerken, dass, wenn der Regulator schwer genug ist, und ferner Reibungs- und Oelbremsung im richtigen Verhältnis vorhanden sind, kurze Schwingungen des Regulators um die Gleichgewichtslage erfolgen, welche eine gute Regulierung ermöglichen.

Aus diesen wenigen herausgegriffenen Regulierungsfällen geht hervor, dass die statische Regulatortheorie für Steuerungen mit Rückwirkung aufhört gültig zu sein. Die empfindlichste Regulierung wird unbrauchbar, und wenig empfindliche Regulierungen liefern brauchbare Ergebnisse. Dabei beachte man, dass bisher ungeänderte Belastung der Maschine vorausgesetzt war. Aendert sich die Belastung, so ändert sich in Fall 2 und 3 einfach die Lage des Schwingungsmittelpunktes dadurch, dass infolge der sich ändernden Zentrifugalkraft der Regulator nach der einen Seite mehr und nach der anderen bei der Rückschwingung weniger ausschlägt. Der Regulator verschiebt nicht mehr, sondern gestattet, verschoben zu werden, so dass er sich jeder kleinen Aenderung der Belastung anpasst. Der Begriff „Unempfindlichkeitsgrad“ ist also voll-

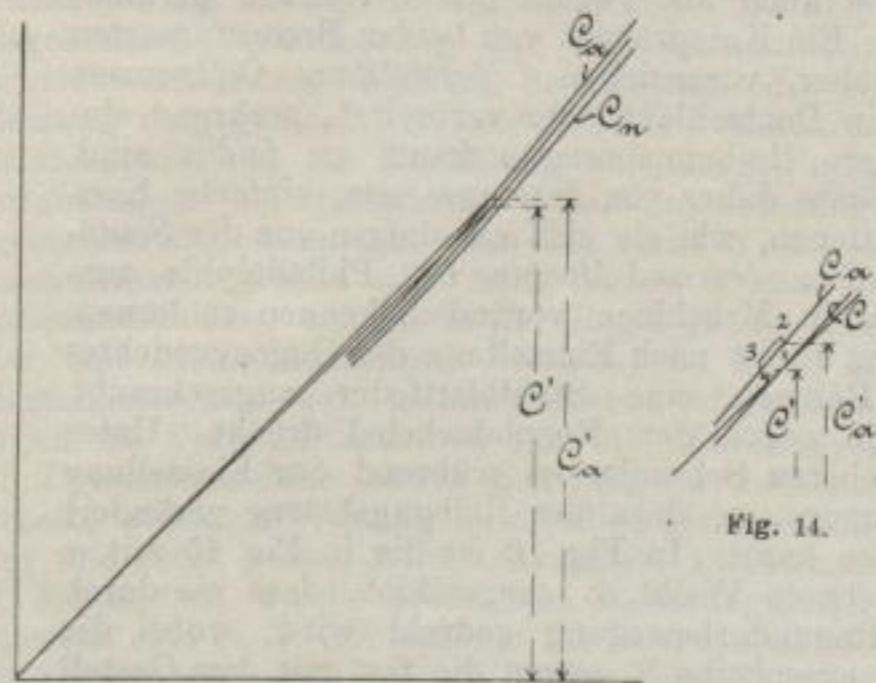


Fig. 13.

Fig. 14.

ständig geändert und unsicher geworden, und die Reibung nur noch insofern von Einfluss, als sie die Schwingungsdauer des Regulators etwas beeinflusst. Der Einfluss der Reibung auf eine Aenderung der Umdrehungszahl vor dem Verstellen der Steuerung, wie ihn die statische Regulatortheorie lehrt, ist nicht vorhanden. Diese Thatsache ist kürzlich von Isaachsen (*Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure* vom 5. August 1899) betont worden; in den Vereinigten Staaten von Nordamerika ist diese Thatsache längst bekannt und gewürdigt; vgl. Thurston: „Stationery steam engines for electric lighting plants“, worin es bei der Besprechung eines Regulatorsystems heisst: „Der Rei-