

aus dem Regulatorgetriebe durch Rechnung oder Zeichnung (Momentengleichung, Kräfte Dreiecke, virtuelle Arbeiten, kinematisch durch Momentanpol) bestimmt werden und sind von der Lage der Regulatorspindel unabhängig. Q kann für verschiedene Höhenlagen der Muffe wechselnde Werte annehmen, welcher Fall bei Federregulatoren eintritt. Trägt man die Kräfte C_g und C_q unter dem jedesmaligen Schwerpunkt des Schwunggewichtes auf, so entstehen zwei Kurven, die C_g - und die C_q -Kurven. Die Tangente des Winkels α (Fig. 7) zwischen der Abscissenachse und der Verbindungslinie des Nullpunktes O mit einem beliebigen Punkte der durch Addition $C_q + C_g$ erhaltenen Kurve ist

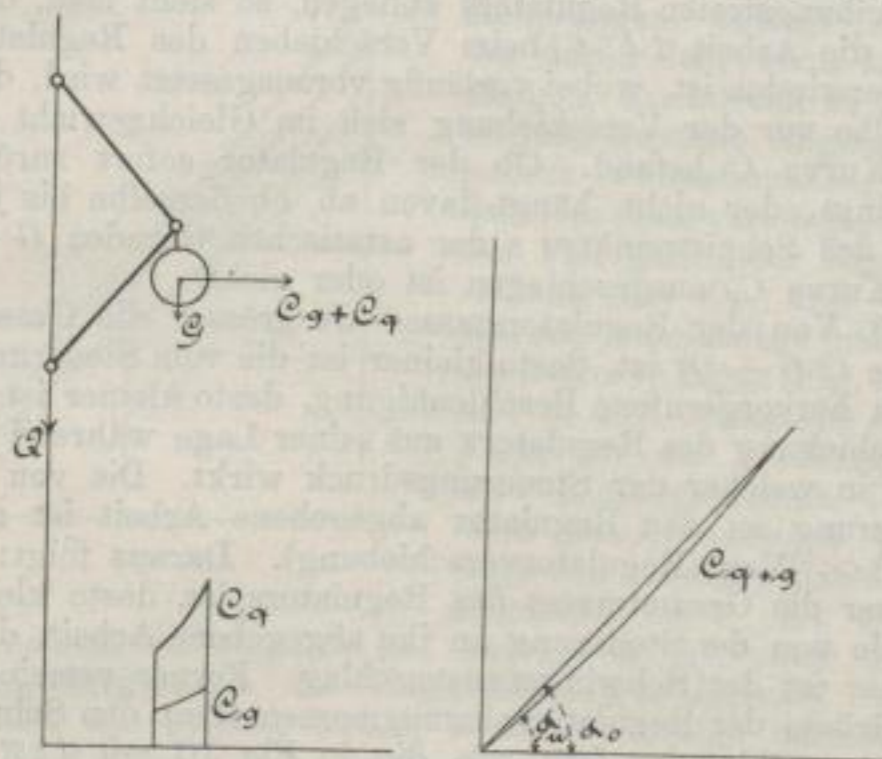


Fig. 6.

Fig. 7.

proportional dem Quadrate der Winkelgeschwindigkeit ω , also auch der Umdrehungszahl u des Regulators in seiner diesem Punkte entsprechenden Stellung. Soll der Regulator brauchbar sein, so müssen für den steigenden Regulator auch die Winkel α wachsen. Sind α_n , α_m und α_o die Winkel in den Regulatorstellungen für untere, mittlere und obere Tourenzahl, so ist

$$\frac{\omega_o - \omega_n}{\omega_m} = \frac{tg \alpha_o - tg \alpha_n}{2tg \alpha_m}$$

der Ungleichförmigkeitsgrad δ des Regulators. Aenderungen des Regulatorgetriebes und Aenderungen der Entfernung des Schwunggewichtsschwerpunktes von der Drehachse verändern δ in weiten Grenzen. Eine Vergrößerung von δ ist ohne weiteres zulässig und wird davon bei den später zu besprechenden statischen Regulatoren Gebrauch gemacht. Einer weitgehenden Verkleinerung von δ stehen dagegen folgende Schwierigkeiten im Wege: Bei den meisten Regulatoren ist die C_g - und C_q -Kurve gekrümmt und einer Verkleinerung von δ ist durch Annäherung an den astatischen Punkt eine Grenze gesetzt. Weiter tritt, falls die C_q -Kurve nicht ganz astatisch ist, infolge des Widerstandes der Steuerung ein Labilwerden beim Verstellen des Regulators ein. Endlich wird δ bei nicht ganz astatischer C_q -Kurve geändert durch Be- oder Entlastungen der Muffe, welche zum Zweck einer Veränderung der Umdrehungszahl vorgenommen werden, so dass auch hierdurch ein Labilwerden des Regulators bei zu kleinem δ eintritt.

Je grösser die Regulatormassen und deren beim Verstellen beschriebene Wege sind, desto grösser muss δ sein, um die bewegten Massen auffangen zu können. Das Auffangen der Massen wird unterstützt durch eine Oelbremse, weniger durch Reibung in den Gelenken des Regulators.

Ist u die Umdrehungszahl des reibungsfreien Regulators, so muss dieselbe infolge der Reibung in seinen Gelenken und in der Dampfmaschinensteuerung auf u_o erhöht bzw. auf u_n erniedrigt werden, bevor ein Verstellen eintreten kann. Der Wert $\frac{u_o - u_n}{u}$, welcher demnach zum

Teil von der Regulatorreibung, zum Teil von dem Widerstande des Stellzeuges abhängt, wird als Unempfindlichkeitsgrad ϵ bezeichnet. Derselbe vergrössert die Ungleichförmigkeit des Regulators, so dass sein gesamter Ungleichförmigkeitsgrad gleich $\delta + \epsilon$ ist.

Nach dieser Erinnerung zu den Betriebsbedingungen elektrischer Maschinen übergehend, werde zunächst der Einfluss erörtert, welchen die Schaltungsweise der Dynamomaschine auf die Wahl des Ungleichförmigkeitsgrades δ ausübt. Durch Einschaltung von Hauptstromwindungen in die Erregung lässt sich die Spannung bei wachsender Belastung so beeinflussen, dass trotz der infolge von δ sinkenden Umdrehungszahl je nach der Anzahl von Hauptstromampèrewindungen die Spannung unverändert bleibt oder sogar steigt. Dieselbe Wirkung lässt sich durch einen automatischen Spannungsregler erzielen, d. h. durch eine Vorrichtung, welche vom Hauptstrom oder von der Spannung bethätigt, selbstthätig Widerstände vor dem Nebenschluss aus- oder einschaltet. Diese Vorrichtungen gestatten dem Dampfmaschinenbau, Regulatoren mit grossem δ , wie sie für andere Betriebsmaschinen genügen, auch für elektrischen Betrieb anzuwenden. Der sich hieraus namentlich für plötzliche Belastungsänderungen ergebende Vorteil ist, wie später gezeigt werden soll, recht erheblich. Es ist aus diesem Grunde wünschenswert, dass für die grossen Zentralen ausschliesslich compound gewickelte Dynamomaschinen angewandt werden (obwohl dieselben, um sicheren Parallelbetrieb zu ermöglichen, eine kleine Komplizierung in der Schaltungsweise erfordern) und zwar nicht nur für Strassenbahnbetrieb — wo sie jetzt schon häufig zu treffen sind —, sondern auch für reinen Lichtbetrieb. Da automatische Spannungsregler wegen ihrer oft zweifelhaften und ruckweisen Wirkung gern vermieden werden, so bildet die Regulierung der Nebenschlussmaschinen noch immer ein wichtiges Kapitel.

Wie schon vorher dargelegt, verlangen dieselben, dass der Ungleichförmigkeitsgrad δ des Regulators so weit herabgedrückt werde, als möglich. Mit weitgehender Verkleinerung von δ treten aber Begleiterscheinungen auf, welche die Regulierung erheblich beeinflussen und daher näher betrachtet werden müssen. Dieselben hängen nicht nur vom Regulator, sondern auch von der Maschinensteuerung ab, insofern als Unterschiede auftreten, je nachdem ob die Maschinensteuerung nur passive oder auch aktive Wirkung auf den Regulator ausübt. Es wird demnach notwendig, diese Steuerungsgruppen getrennt zu erörtern.

Für alle Drosselregulierungen, sowie für diejenigen Steuerungen, welche keinen aktiven Rückdruck auf den Regulator ausüben, sondern nur passiven Widerstand gegen Verstellen leisten (das sind vor allem die Rider-Flach- und -Kolbenschiebersteuerungen), gilt die oben skizzierte Regulatortheorie in vollem Umfange. Desgleichen gilt sie für die Mehrzahl der indirekt wirkenden Regulatoren mit der Abänderung, dass an die Stelle der Steuerungsverstellkraft und -reibung die zum Bewegen des Auslöseschiebers oder -ventiles notwendige Verstellkraft und Reibung tritt. Die Theorie ergibt für diese Fälle in Uebereinstimmung mit der Praxis, dass die empfindlichsten Federregulatoren die beste Regulierung ergeben, weil sie geringe Eigenreibung, hohe Umdrehungszahl und kleine Massen besitzen und sich bei Aenderung der Belastung ohne lang dauernde Schwankungen in die neue Gleichgewichtslage einstellen, so lange als der Ungleichförmigkeitsgrad δ einen für die verschiedenen Konstruktionen wechselnden Betrag nicht unterschreitet. Ueber den Einfluss aller dieser Werte, besonders in Bezug auf die Bewegungen des Regulators beim Verstellen, vergleiche man die Abhandlungen von Tolle in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1895 und 1896. Jedoch beachte man beim Studieren derselben, dass sie nur für solche Regulatoren gelten, welche keinen Rückdruck von der Steuerung erfahren, und ferner, dass der Hartung-Federregulator in der Zwischenzeit Aenderungen erfahren hat, welche das von Tolle über ihn gefällte Urteil als hinfällig erscheinen lassen. Weiter beachte man, dass zu den a. a. O. aufgeführten Federregulatoren mit geringer Eigenreibung noch der (anscheinend dem Hartung-Regulator nachgebildete) Regulator von Heinemann getreten ist, und endlich, dass das angeblich von Tolle erfundene Mittel, die Regulatorschwungmasse behufs Erzielung einer astatischen C_q -Kurve weit nach innen zu legen, also Winkel α gross zu machen (Fig. 8), schon 3 Jahre vor Tolle's Patent in den Regulatoren am Niagara angewandt worden ist (vgl. Fig. 9). Vorteilhaft ist es ferner, wenn die C_q -Kurve des