

vermindert und die Arbeit der Maschine *I* um (nahezu) denselben Wert erhöht. Die voreilende Maschine wird zurückgehalten, die zurückbleibende wird beschleunigt, die Maschinen halten sich somit in gleicher Phase. Dasselbe Ergebnis erhält man durch Zusammensetzen des Stromes i_{III} mit den Strömen i_I und i_{II} , welche vor der gegenseitigen Geschwindigkeitsänderung in den Maschinen flossen, zu den Strömen J_I und J_{II} . Die Fig. 18 zeigt, dass die Arbeit der Maschine *I* infolge des vergrösserten Stromes und der verkleinerten Phasenverschiebung bedeutend vergrössert ist, während die Maschine *II* aus den umgekehrten Gründen entlastet wird. Die Arbeitsverteilung und damit die zusammenhaltende Kraft wird etwas beeinflusst durch die infolge Ankerrückwirkung eintretende Spannungsänderung, jedoch ist dieser Einfluss nicht so wesentlich und würde die genaue Erörterung desselben hier zu weit führen. Aus dem Mitgeteilten geht hervor, dass Wechsel- und Drehstrommaschinen im Parallellaufe das Bestreben haben, sich gegenseitig zu kontrollieren und in Phase zu bleiben, ja sogar, falls sie nicht ganz in Phase sind, sich gegenseitig in Phasengleichheit zu ziehen. Nachdem dieses erwiesen ist, kann es kaum einem Zweifel unterliegen, dass alle Schwierigkeiten beim Parallelschalten nur von der Antriebsmaschine herrühren. Ferner zeigt die Thatsache, dass Turbinen ein fast ideales Parallellaufen und -schalten ermöglichen, dass die sich ergebenden Schwierigkeiten aus Schwankungen der Winkelgeschwindigkeit hervorgehen. Es kommt demnach darauf an, die Dampfmaschinen so gleichförmig als möglich laufen zu lassen. Das beliebteste Mittel zur Erzielung grosser Gleichförmigkeit ist (wenigstens im Bau stationärer Maschinen) Schwungmasse. Dieselbe bietet in der That einen Vorteil, denn sie bestimmt den grössten Wert des Winkels α in den Diagrammen Fig. 23 und 24. Macht man dann den Winkel α so klein, dass der entstehende resultierende Strom J_I keinen Schaden anrichten kann, so können die Maschinen ohne Gefahr zusammenlaufen. Die infolge der Dampfexpansion entstehenden Schwungradschwingungen durchlaufen einen vollständigen Cyklus in höchstens einer halben Maschinenumdrehung, so dass der Zusatzstrom niemals Gelegenheit findet, länger als $\frac{1}{4}$ Umdrehung zu wirken.

In Deutschland ist es meist üblich, einen Ungleichförmigkeitsgrad γ des Schwungrades vorzuschreiben, beispielsweise 1:300. Aus dem Werte γ kann man nicht ohne weitere Zwischenrechnungen auf die Grösse der Ströme i_{III} in Fig. 24 schliessen. Einige Firmen dagegen geben die grösste zulässige Winkelvoreilung s des Schwungrades gegenüber einem mit gleichbleibender Umfangsgeschwindigkeit rotierenden idealen Schwungrade an. Multipliziert man diesen Wert s mit der Anzahl der Polpaare der Maschine, so erhält man den Voreilungswinkel, welcher in Fig. 23 und 24 mit α bezeichnet ist, unter der Voraussetzung, dass eine Maschine ideal gleichförmig rotiert. Da aber beide Maschinen ungleichförmig laufen, so kann α ungünstigstenfalls doppelt so gross werden. Der Winkel α bestimmt nun unmittelbar die Grösse und Phase des Stromes i_{III} , wenn Selbstinduktion und Ankerwiderstand der Generatoren bekannt sind. Die Angabe der Winkelvoreilung ist demnach für die Beurteilung der wirklichen Vorgänge in den Dynamomaschinen sehr bequem, aber die Berechnung der Schwungmasse aus der Winkelvoreilung erfordert mehr als doppelt so viel Zeit als die Berechnung mit Hilfe des Ungleichförmigkeitsgrades, weil aus dem Tangentialdruckdiagramm als Beschleunigungskurve durch stückweise Integration die Geschwindigkeitskurve und aus dieser wiederum nach demselben Verfahren die Verschiebungs- oder Wegkurve abzuleiten ist. (Eine Abkürzung dieses lästigen Verfahrens ist nicht möglich, jedoch kann man für überschlägliche Rechnungen folgendes benutzen:

$$\alpha_1^\circ = 20 \text{ bis } 22 p \gamma \text{ für Zweikurbelmaschinen,}$$

$$\alpha_1^\circ = 16 \text{ bis } 18 p \gamma \text{ für Dreikurbelmaschinen,}$$

hierin ist p die Anzahl der Pole, γ der Ungleichförmigkeitsgrad des Schwungrades, z. B. $\frac{1}{350}$, α_1 die relative Schwingungsweite des Schwungrades gegenüber dem ideal gleichförmig rotierenden Rade, ausgedrückt in Graden einer Periode. [Eine Periode entspricht dem Abstand von Mitte

Nordpol bis Mitte Nordpol, oder 360° .] Die höheren Koeffizienten sind zu benutzen bei ungleicher Verteilung der Arbeit und Massen über die verschiedenen Cylinder, die kleineren Koeffizienten bei gleicher Arbeits- und Massenverteilung. Da das Schwungrad gegen das ideale Schwungrad um ungefähr $\frac{\alpha_1^\circ}{2}$ zurückbleibt und voreilt, so wird die grösste gegenseitige Verschiebung beim Zusammenlaufen zweier Maschinen α_1° betragen, so dass die Spannung III , welche die Extraströme hervorruft, sich berechnet zu

$$III = I \tan \alpha_1$$

Ist beispielsweise $\alpha_1^\circ = 3^\circ$ gegeben, und besitzt die Dynamomaschine 60 Pole, so kann man für eine Dreikurbelmaschine im günstigsten Falle mit einem Ungleichförmigkeitsgrad $\gamma = \frac{3}{16 \cdot 60} = \frac{1}{320}$ auskommen, muss aber bei

ungünstiger Massen- und Arbeitsverteilung bis zu $\gamma = \frac{3}{18 \cdot 60} = \frac{1}{360}$ ausführen.

Die *General Electric Co.*, Schenectady, N. Y., hat den Winkel α auf 2,5% festgesetzt; dem entspricht bei einer 20poligen Maschine eine Winkelverschiebung des Schwungrades von $s = \frac{2,5}{\frac{1}{2} \cdot 20} = 0,25^\circ$ und bei einer 50poligen

Maschine $s = 0,1^\circ$.

Da vielpolige Maschinen auch immer langsam laufende Maschinen sind, so folgt, dass man bei solchen sehr grosse Schwungmassen benötigen wird, um den geforderten kleinen Wert von α einzuhalten. Wenn auch die grossen langsam laufenden Maschinen sowohl elektrisch als auch in Bezug auf die Dampfmaschine gewisse Vorteile bieten, so kommt doch bei geringer Umdrehungszahl das aus dem Winkel α berechnete Schwungradgewicht an die Grenze der Ausführbarkeit, falls man sich nicht dazu entschliesst, ein gleichmässiges Drehmoment durch Mehrkurbelmaschinen herbeizuführen. Dieselben sind Tandemaschinen mit schwerem Schwungrade entschieden vorzuziehen, denn wenn auch der Winkel α (in Fig. 24) in beiden Maschinengattungen gleich ist, so sind doch die Vorgänge in den Generatoren verschieden. Die Korrekptions- oder Extraströme i_{III} ziehen Maschinen mit kleinen Schwungmassen viel leichter in Phase, als solche mit grossen Schwungmassen.

Das zeigt die Kehrseite der Medaille. So vorteilhaft Schwungmassen auf der einen Seite sind, so gefährlich können sie auf der anderen Seite werden. Die Wirkung der Extraströme i_{III} ist immer das Hineinziehen der Maschinen in gleiche Phase. Dazu gehört Beschleunigung und Verzögerung, welcher sich die Masse des Schwungrades entgegengesetzt. Nun bestimmt zwar im normalen Betrieb die Grösse der Schwungmassen durch Festlegung des Winkels α die Grösse der Ströme i_{III} , aber es treten Gelegenheiten ein, wo sich weit grössere Extraströme bilden. Eine solche Gelegenheit bietet das plötzliche Aufziehen dunkler Wolken, welches, da Wechselstrommaschinen häufig vom Verbrauchsorte des Stromes weit entfernt liegen, im Maschinenhause nur durch rapides Anwachsen der Belastung erkennbar ist. Dann muss in kürzester Zeit parallel geschaltet und synchronisiert werden mit Maschinen, deren Umdrehungszahl sich infolge wachsender Belastung fortwährend ändert. Dann werden die Maschinen infolge der kurzen Zeit zusammengeschaltet, ohne genau in Phase zu sein, und dann wehe der Maschine mit zu grossen Schwungmassen. Die Extraströme beeinflussen hier nicht nur den elektrischen Teil durch übermässige Erhitzung der Anker, sondern rufen auch gefährliche Spannungen und Stösse in den Armen der Dynamomaschine und des Schwungrades, sowie auch in dem Wellenstück zwischen diesen beiden hervor.

Hier tritt der Vorteil der Mehrkurbelmaschinen mit geringen Schwungmassen und noch mehr der Turbinen hervor, welche sich mit wunderbarer Leichtigkeit in Phase ziehen; diese Ueberlegung zeigt auch, warum Gasmaschinen zum Antrieb grosser Wechselstrombetriebe wenig Hoffnung auf Erfolg haben. Die Schwierigkeit für den Dampfmaschinenbau liegt darin, Mehrkurbelmaschinen mit ge-