Band 79. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 3.**

Ueber das Pendeln von parallel geschalteten Wechselstrom-Generatoren.

Von *J. Fischer-Hinnen* (†), Oerlikon.

(Schluss von Seite 15.)

4. *Diskussion der Gleichung (25).*

Aus der Gleichung (25) lassen sich verschiedene praktisch wichtige Schlüsse ziehen.

1. Zunächst einmal ist ersichtlich, dass sich die wirkliche Bewegung der Schwungmassen aus der Zusammenwirkung zweier *erzwungener* Schwingungen von den Winkelgeschwindigkeiten ω_1 und ω_2 bezw. den Periodenzahlen c_1 und c_2 und einer *freien* Schwingung von der Winkelgeschwindigkeit ω_3 ergibt. Die erzwungenen oder freien Schwingungen allein geben daher keine zuverlässlichen Anhaltspunkte über die maximalen Pendelausschläge.

2. Die Gleichung (25) zeigt ferner, dass sich aus den Konstanten einer Maschine allein kein einwandfreier Schluss auf das Verhalten der Maschine bei Parallelbetrieb ziehen lässt, indem die gleiche Maschine, je nachdem sie mit der einen oder andern Maschine gekuppelt wird, eine verschiedene Schwingungszeit annimmt. Daraus erklärt sich auch die gelegentlich beobachtete Tatsache, dass zwei Maschinen I und II anstandslos mit einer Maschinengruppe III zusammen laufen, während sie untereinander nicht gekuppelt werden können.

3. Geht aus der Gleichung (25) hervor, dass die Leistungschwankungen nicht nur proportional den periodischen Schwankungen der Tangentialkräfte zunehmen, sondern in noch viel grösserem Masse durch das Verhältnis der Periodenzahlen der erzwungenen Schwingungen zu den freien Schwingungen beeinflusst werden, und zwar macht sich dieser Einfluss umsomehr geltend, je näher ω_3 an ω_1 oder ω_2 liegt.

Um daher die Störungen auf ein zuträgliches Mass herabzusetzen, sollte ω_3 *bei allen Belastungen* möglichst weit von ω_1 und ω_2 entfernt sein, und zwar nicht deshalb, weil für $\omega_3 = \omega_1$ oder $\omega_3 = \omega_2$ *Resonanz* eintritt — dieser Fall ist überhaupt ausgeschlossen — sondern weil die Maschine schon lange vor der eigentlichen Resonanz aus dem Tritt geschlagen wird. In der Tat entspricht ja der Resonanzfall einer unendlich grossen Leistung, während die Maschine schon bei der 4 bis 5 fachen Normalleistung aus dem Tritt fällt und schon weit darunter einen völlig unzulässigen Betrieb liefert.

Bei alledem darf natürlich nicht übersehen werden, dass wir zu der Formel (25) eben nur durch gewisse vereinfachende Annahmen gelangt sind. So z. B. wurde die Dämpfung vernachlässigt und angenommen, das wirkliche Tangentialdruckdiagramm lasse sich durch eine Sinuskurve ersetzen usw. Alle diese Annahmen können möglicherweise das Resultat etwas beeinflussen und bedürfen hinsichtlich ihrer Zulässigkeit einer nachträglichen Kontrolle. Zunächst aber werden wir zwei bestimmte Fälle herausgreifen, die sich zur qualitativen Prüfung der Ergebnisse besonders gut eignen.

1. Fall. Eine Maschine bestimmter Art I laufe mit einer zweiten oder mit einer beliebigen Zahl von x Maschinen gleicher Art zusammen, wobei die Maschine I von einer Dampfmaschine, die übrigen von Turbinen mit grossem Gleichförmigkeitsgrad angetrieben seien. Unter dieser Voraussetzung fällt der zweite Klammerausdruck auf der rechten Seite von Gleichung (25) weg und wird

$$\omega_{10} = \omega_{20} = \omega_3 \quad \text{und} \quad \alpha_2 = x\,\alpha_1,$$

folglich

$$\frac{\Delta W_1}{W_1} = \frac{\Delta P_1}{P_1}\Big[-\sin\omega_1 t + \sin\omega_1 t_1 \cos\omega_{10}(t-t_1) + \frac{\omega_1}{\omega_{10}}\cos\omega_1 t_1 \sin\omega_{10}(t-t_1)\Big]\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\left(\frac{x}{1+x}\right),$$

oder etwas anders geschrieben

$$\left.\begin{aligned}\frac{\Delta W_1}{W_1} = \frac{\Delta P_1}{P_1}\Big[&-\sin\omega_1 t + \\ &+\sqrt{1-\left(\frac{\omega_1^2}{\omega_{10}^2}-1\right)\cos^2\omega_1 t_1}\cdot\sin\left[\omega_{10}(t-t_1)+\tau\right]\Big]\times \\ &\times\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\left(\frac{x}{1+x}\right)\end{aligned}\right\}\quad(26)$$

worin uns der Winkel τ nicht weiter interessiert.

Aus dieser Gleichung ersieht man sofort, dass die maximale Energiewanderung jeweils für

$$\sin\omega_1 t_1 = -\sin\left[\omega_{10}(t-t_1)+\tau\right] = \pm 1$$

eintritt, indem sich in diesen Zeitpunkten die Amplituden der erzwungenen und freien Schwingungen addieren. Wir haben also nur noch zu untersuchen, welche Werte der Wurzelausdruck annimmt. Nun zeigt eine kleine Ueberlegung, dass dieser für $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} > 1$ ein Maximum wird, wenn $\cos\omega_1 t_1 = 1$ ist, d. h. wenn gerade im Moment parallel geschaltet wird, wo der Tangentialdruck durch den Mittelwert geht. Umgekehrt erhält man für $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} < 1$ ein Maximum, wenn $\cos\omega_1 t_1 = 0$ ist.

Dementsprechend erhält man für $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} > 1$

$$\left.\begin{aligned}\left(\frac{\Delta W_1}{W_1}\right)_{\max} &= \pm\frac{\Delta P_1}{P_1}\left[1+\frac{\omega_1}{\omega_{10}}\right]\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\left(\frac{x}{1+x}\right) = \\ &\pm\frac{\Delta P_1}{P_1}\frac{\omega_{10}}{(\omega_1-\omega_{10})}\left(\frac{x}{1+x}\right)\end{aligned}\right\}\quad(27)$$

für $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} < 1$

$$\left.\begin{aligned}\left(\frac{\Delta W_1}{W_1}\right)_{\max} &= \pm\frac{\Delta P_1}{P_1}\left[1+1\right]\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\left(\frac{x}{1+x}\right) = \\ &\pm\frac{\Delta P_1}{P_1}\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\left(\frac{2x}{1+x}\right)\end{aligned}\right\}\quad(28)$$

2. Fall. Eine Maschine der Gattung I werde mit einer zweiten oder auch mit einer ganzen Gruppe II von x Maschinen gleicher Art und gleichen Antriebsmaschinen zusammengeschaltet, wobei die Kurbeln sämtlicher Maschinen der Gruppe II gegenüber I um $\psi = 90^0$ verschoben seien.

In diesem Falle wird

$$\alpha_2 = x\,\alpha_1, \qquad \omega_{20} = \omega_3 = \omega_{10}, \qquad \omega_1 = \omega_2, \qquad \alpha_2 = x\,\alpha_1$$

$$\frac{\Delta P_2 v_2}{P_1 v_1}\frac{\omega_{20}^2}{\omega_2^2-\omega_3^2}\frac{\alpha_1}{\alpha_1+\alpha_2} = \frac{\Delta P_1}{P_1}\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\frac{x}{1+x},$$

somit

$$\frac{\Delta W_1}{W_1} = \frac{\Delta P_1}{P_1}\Big[-\sin\omega_1 t + \cos\omega_1 t + (\sin\omega_1 t_1 - \cos\omega_1 t_1)\times\cos\omega_{10}(t-t_1) + \frac{\omega_1}{\omega_{10}}(\cos\omega_1 t_1 + \sin\omega_1 t_1)\sin\omega_{10}\times(t-t_1)\Big]\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\left(\frac{x}{1+x}\right)$$

oder etwas umgeformt

$$\left.\begin{aligned}\frac{\Delta W_1}{W_1} = \frac{\Delta P_1}{P_1}\Big[&\sqrt{2}\sin\left(\omega_1 t-\frac{\pi}{4}\right) + \\ &+\sqrt{\frac{\omega_1^2}{\omega_{10}^2}+1+\left(\frac{\omega_1^2}{\omega_{10}^2}-1\right)\sin 2\,\omega_1 t_1}\cdot\sin\left[\omega_{10}(t-t_1)+\right. \\ &\left.+\,\delta\right]\Big]\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\left(\frac{x}{1+x}\right)\end{aligned}\right\}\quad(29)$$

Der Maximalwert dieses Ausdruckes ist für $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} > 1$

$$\left.\begin{aligned}\left(\frac{\Delta W_1}{W_1}\right)_{\max} &= \pm\frac{\Delta P_1}{P_1}\left[\sqrt{2}+\frac{\omega_1}{\omega_{10}}\sqrt{2}\right]\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\left(\frac{x}{1+x}\right) = \\ &\pm\frac{\Delta P_1}{P_1}\frac{\omega_{10}}{\omega_1-\omega_{10}}\left(\frac{\sqrt{2}\,x}{1+x}\right)\end{aligned}\right\}\quad(30)$$