ÜBER DIE DYNAMISCHE STABILITÄT VON ZWEIMASCHINEN-SYSTEMEN

Von

K. P. Kovács, I. Rácz und J. Lázár

Lehrstuhl für Betriebslehre elektrischer Maschinen, Technische Universität Budapest,

(Eingegangen am 13. Oktober 1958)

In der Fachliteratur ist die Methode der Untersuchung der dynamischen Stabilität von aus zwei Synchronmaschinen bestehenden — oder auf solche zurückführbaren — Systemen ausführlich ausgearbeitet. Das Wesentliche dieser Verfahren ist bekanntlich folgendes.

In den Bewegungsgleichungen beider Maschinen (a und b) figurieren die Winkel δ_a und δ_b der die Lage der Läufer kennzeichnenden transienten Spannungen U_a' und U_b'. Durch mathematische Umformung kann man zu einer Gleichung gelangen, in der bloß der relative Winkel $\delta = \delta_a - \delta_b$ vorkommt. Durch dieses Verfahren wird eigentlich das Zweimaschinen-System auf jenen Fall zurückgeführt, in welchem eine einzige Maschine auf ein starres Netz arbeitet. Die so erhaltene Gleichung wird gewöhnlich auf die Form

$$\frac{d^2\,\delta'}{d\,\tau^2} = p - \sin\delta' \tag{1}$$

gebracht, wo $\delta' = \delta - \gamma$, $\tau = kt$ die sogenannte modifizierte Zeit, p eine von den Leistungsverhältnissen, γ dagegen eine von der Impedanz des Netzes abhängige Konstante ist.

Die Untersuchung der dynamischen Stabilität erfolgt im allgemeinen derart, daß zuerst der Anfangswinkel $\delta_0 = \delta_{a0} - \delta_{b0}$ für den Zustand vor der Betriebsstörung, danach die Angaben der Gleichung (1) für den Störungszustand und schließlich der die Anfangsbedingung darstellende Winkel $\delta_0' = \delta_0 - \gamma$ bestimmt werden. Hierauf wird aus den im Schrifttum auffindbaren Grenzkurven festgestellt, ob trotz der Störung die Stabilität dauernd aufrecht erhalten bleibt. Wenn der Fehler abgeschafft werden muß, dann wird mittels der in der Literatur gleichfalls auffindbaren vorausberechneten Schwingungskurven, die die Lösungen der Gleichung (1) darstellen, derjenige Zeitpunkt bestimmt, in welchem der Netzfehler abzuschalten oder eine sonstige Schaltungsoperation vorzunehmen ist.

Im Falle einer einzigen, mit einem starren Netz parallel laufenden Maschine verursacht diese Methode im allgemeinen keine Überraschungen.

Bei der Untersuchung der dynamischen Stabilität von Zweimaschinen-Systemen kommt es aber vor, daß für die Anfangsbedingungen der Gleichung (1) die in der Literatur vorfindbaren vorausberechneten Schwingungskurven nicht ausreichen. Diese Kurven beziehen sich nämlich nur auf Fälle, in denen sich der Schwingungsvorgang derart abspielt, daß der durch die Läufer eingeschlossene relative Winkel mit einem positiven Anfangswert ansetzt und bis zur Beendigung des Vorganges positiv bleibt.

Je nach den Belastungsverhältnissen des normalen Betriebszustandes, der der Störung vorausging, sowie je nach der Stelle der Störung und nach der Aufteilung des Trägheitsmomentes auf beide Läufer kommt es aber auch zu Schwingungsvorgängen, bei denen sich der relative Winkel vom Anfangswert auf Null verringert, dort das Vorzeichen wechselt, worauf die Läufer in entgegengesetzte Richtungen auseinanderpendeln und die Maschinen eventuell auch außer Tritt fallen. Dies offenbart sich bei der Berechnung der Stabilität insofern, als sich für die Konstante p in Gleichung (1) ein negatives Vorzeichen ergibt, d. h. die Gleichung die Form

$$\frac{d^2 \delta'}{d\tau^2} = -p - \sin \delta' \tag{2}$$

annimmt. Verfährt man hingegen so, daß anstatt $\delta' = \delta'_a - \delta'_b$ der Winkel $\delta' = \delta'_b - \delta'_a = -(\delta'_a - \delta'_b)$ als Veränderliche betrachtet wird, dann wird zwar Gleichung (2)

$$\frac{d^2(-\delta')}{d\tau^2} = -p - \sin(-\delta')$$

(die negativen Vorzeichen herausgehoben und an beiden Seiten mit $[-1]$ multipliziert) förmlich in die Gleichung (1) übergehen

$$\frac{d^2 \delta'}{d\tau^2} = p - \sin \delta', \tag{1'}$$

doch wird dadurch natürlich infolge des Vorzeichenwechsels das Vorzeichen des Anfangswinkels δ'_0 negativ werden. Die bereits bekannten vorausberechneten Schwingungskurven sind in keinem der beiden Fälle anwendbar.

Zur Beseitigung dieses Mangels geben wir in den Bildern 1—5 die Lösungen der Schwingungsgleichung (1) für verschiedene negative Anfangswinkel δ'_0 und für verschiedene positive p-Werte. Mit Hilfe dieser vorausberechneten Schwingungskurven kann die Untersuchung der dynamischen Stabilität auch in den oben angeführten Fällen auf die gewohnte einfache Weise durchgeführt werden.

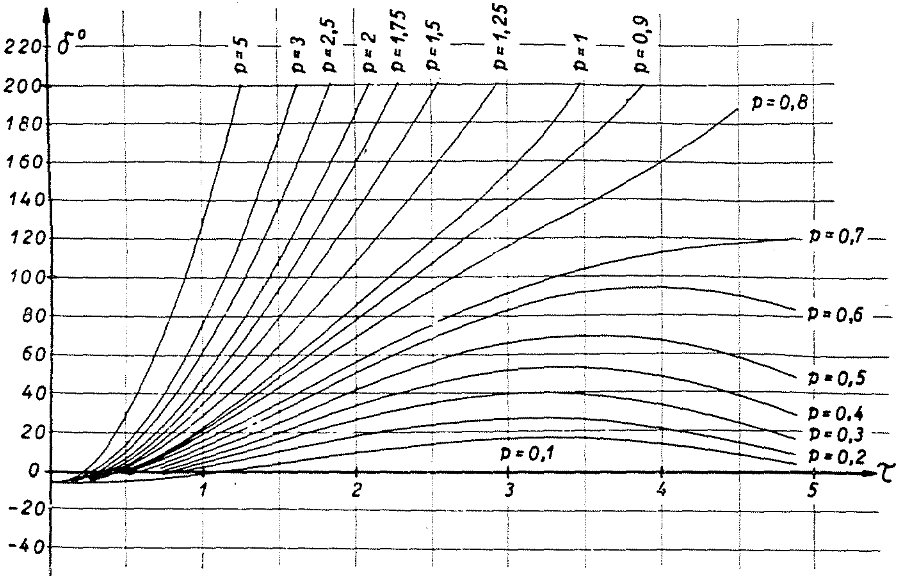

Bild 1. $\sin \delta_0' = -0{,}1$

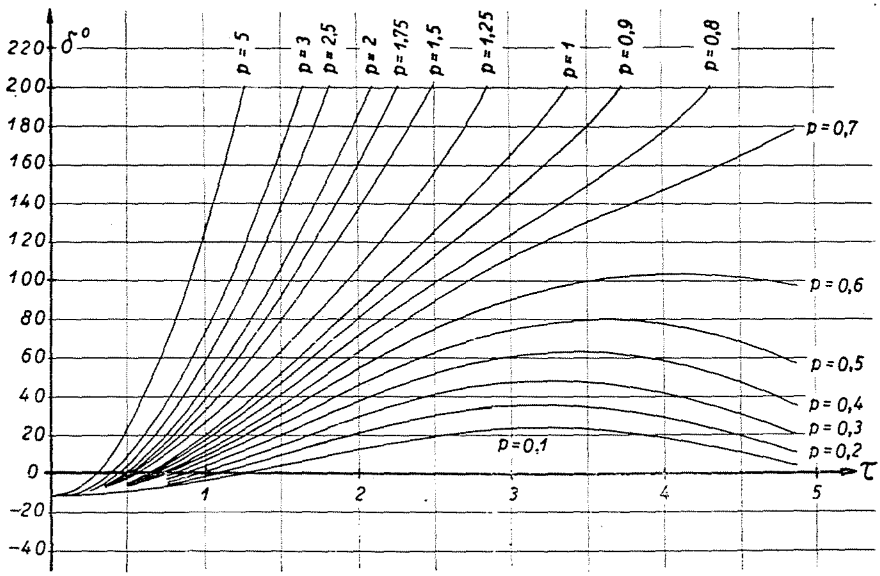

Bild 2. $\sin \delta_0' = -0{,}2$

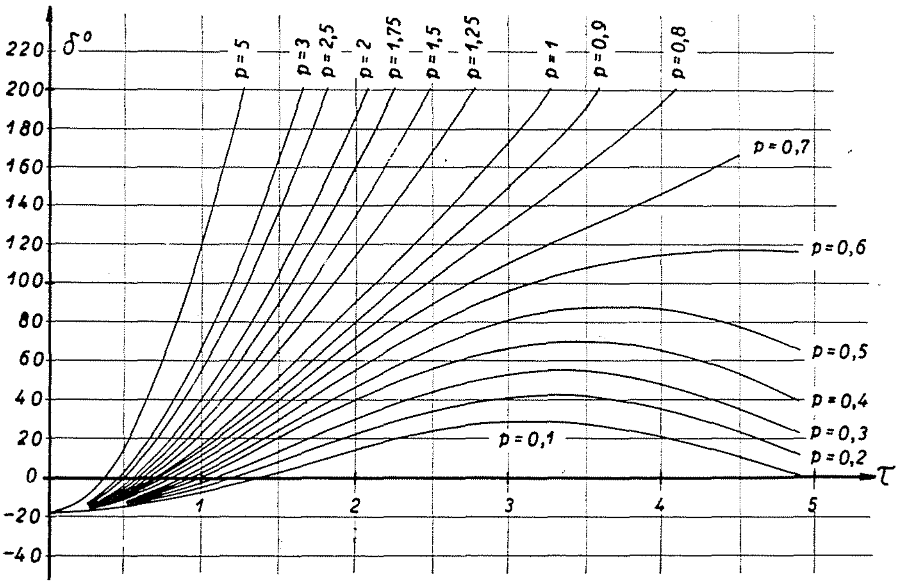

Bild 3. $\sin \delta_0' = -0{,}3$

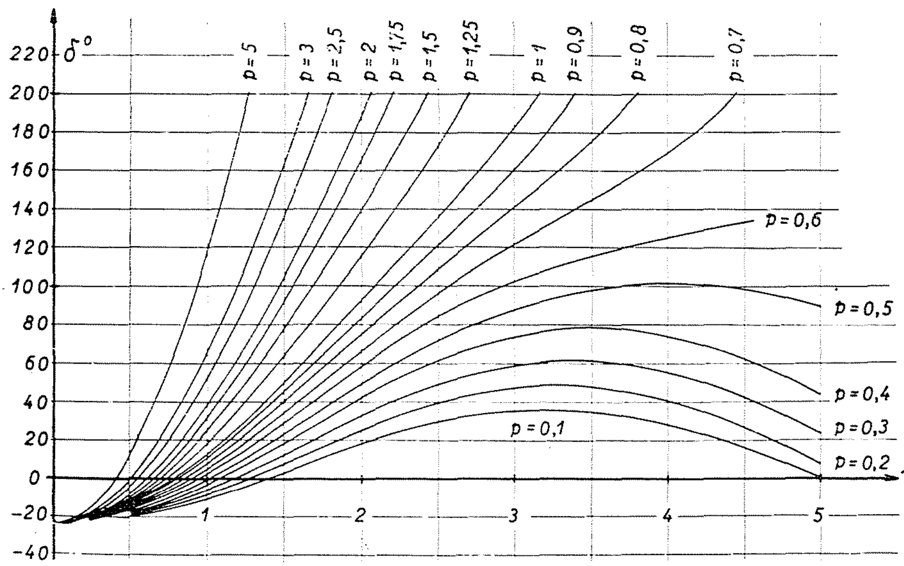

Bild 4. $\sin \delta_0' = -0{,}4$

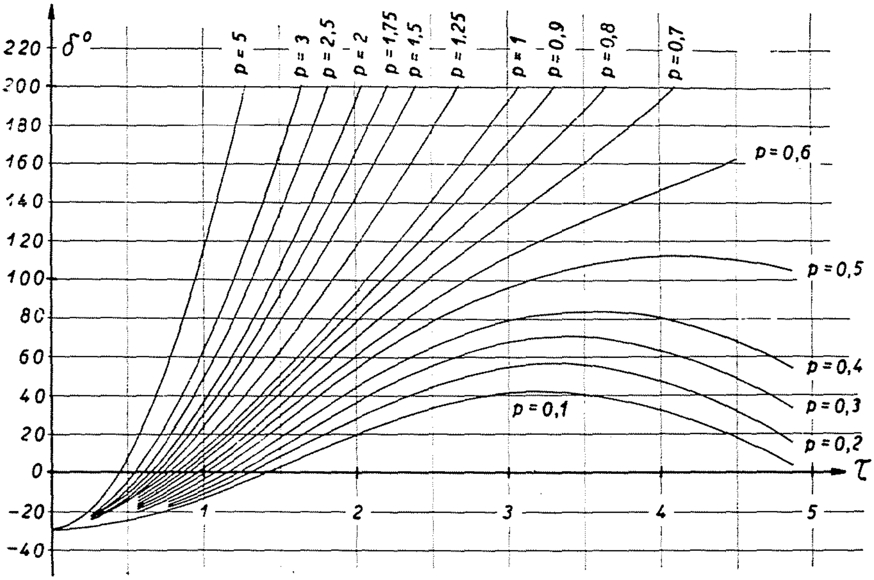

Bild 5. $\sin \delta_0' = -0,5$

Zusammenfassung

Zur Untersuchung der dynamischen Stabilität von Zweimaschinen-Systemen sind die in der Literatur zur Verfügung stehenden vorausberechneten Schwingungskurven nicht in jedem Fall anwendbar. Der Aufsatz bringt auch für diese Fälle vorausberechnete Schwingungskurven.

Literatur

1. Kimbark, E. W.: Power System Stability (Netzstabilität), Vol. I., John Wiley et Sons, Inc. New-York, 1948. pp. 149—92.
2. Summers, I. H.—McClure, J. B.: AIEE Trans., **49**, 132—58 (1930).
3. Byrd, H. L.—Pritchard Jr., S. R.: Gen. Elec. Rev. **36**, 81—93 (1933).
4. П. С. Жданов: Устойчивость Электрических Систем. (Stabilität elektrischer Systeme.) Госэнергоиздат, 1948. Москва — Ленинград.
5. И. М. Маркович: Энергетические Системы и их Режимы. (Energiesysteme und ihr Betrieb.) Госэнергоиздат, 1952. Москва — Ленинград.

Prof. K. P. Kovács
Doz. I. Rácz Budapest, XI. Stoczek u. 2, Ungarn
Ass. J. Lázár