Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 79/80 (1922)

Heft: 3

Artikel: Ueber das Pendeln von parallel geschalteten Wechselstrom-Generatoren.

Autor: Fischer-Hinnen, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-38033

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Ueber das Pendeln von parallel geschalteten Wechselstrom-Generatoren. — Wettbewerb für ein Verwaltungsgebäude des städtischen Elektrizitäts- und Wasserwerks Aarau. — Eisenbeton-Kahn nach „System Züblin-Koller". — † Dr. J. J. Sulzer-Imhoof. — Miscellanea: Teilnahme der Schweiz an den Mustermessen des Auslandes. Schiffs-Dieselmotoren mit Zahnradgetriebe. Eine Strohbauweise. Neuere Einphasen-Lokomotiven der A. E. G. Wasserbau- und Binnenschiffahrt-Ausstellung in Essen. Belgische Ingenieurbauten. — Nekrologie: J. Fischer-Hinnen. — Konkurrenzen: Wettbewerb für den Wiederaufbau von Sent. Plakat für das Eidg. Sängerfest. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweiz. Ing.- und Arch.-Verein. Zürcher Ing.- und Arch.-Verein. Stellenvermittlung. — Tafel 3: † Dr. J. J. Sulzer-Imhoof.

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

$$\omega_{10} = \omega_{20} = \omega_3 \quad \text{und} \quad a_2 = x\,a_1,$$

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

$$a_2 = x\,a_1, \qquad \omega_{20} = \omega_3 = \omega_{10}, \qquad \omega_1 = \omega_2, \qquad a_2 = x\,a_1$$

$$\frac{\Delta P_2\, v_2}{P_1\, v_1}\,\frac{\omega_{20}^2}{\omega_2^2-\omega_3^2}\,\frac{a_1}{a_1+a_2} = \frac{\Delta P_1}{P_1}\,\frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2-\omega_{10}^2}\,\frac{x}{1+x},$$

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 $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} > 1$

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

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

$$\left(\frac{\Delta W_1}{W_1}\right)_{max} = \pm \frac{\Delta P_1}{P_1}\left[\sqrt{2} + \sqrt{\frac{\omega_1^2}{\omega_{10}^2} + 1}\right] \frac{\omega_{10}^2}{\omega_1^2 - \omega_{10}^2}\left(\frac{x}{1+x}\right) \quad (31)$$

Die zwei Beispiele dürften genügen, um die Anwendung der Formel (25) auf konkrete Fälle zu erläutern. Aus den Gleichungen (27) und (28), bezw. (30) und (31), zu denen wir allerdings unter vereinfachenden Annahmen gelangt sind, geht zunächst einmal hervor, dass es durchaus nicht gleichgültig ist, ob eine Maschine blos mit einer zweiten, oder einer grösseren Zahl zusammenläuft, weil mit der Grösse der mitschwingenden Massen naturgemäss der Pendelwinkel γ des Vektors der Netzspannung abnimmt, somit der für die Energieschwankungen massgebende Winkel $(\varepsilon - \gamma)$ grösser ausfällt. Ausserdem sieht man deutlich die Abhängigkeit der maximalen Amplituden vom Verhältnisse $\frac{\omega_1}{\omega_{10}}$.

Wir sind nun wohl kaum zu streng in unsern Anforderungen, wenn wir einen Betrieb, bei dem die Ampèremeter beständig zwischen 0 und 100 % Ueberlast hin- und herschwanken, als unzulässig bezeichnen. Rechnet man aber aus Gleichung (27) das Verhältnis $\frac{\omega_1}{\omega_{10}}$ aus, für das $\frac{\Delta W_1}{W_1} = 1$ wird, so erhält man z. B. für $\frac{\Delta P}{P_1} = 0{,}4$ und

$$x = 1: \quad \frac{\omega_1}{\omega_{10}} = 1{,}2,$$

$$\text{für } x = \infty: \quad \frac{\omega_1}{\omega_{10}} = 1{,}4.$$

Daraus folgt, dass die landläufige Regel, wonach es genügt, dem Resonanzfalle $\omega_1 = \omega_{10}$ auszuweichen, noch lange keine Gewähr für einen tadellosen Betrieb liefert, vielmehr muss in erster Linie untersucht werden, welche Werte $\frac{\Delta W_1}{W_1}$ annimmt.

5. *Allgemeiner Fall.*

Die bisher abgeleiteten Formeln gelten, wie bereits bemerkt, nur so lange, als die Maschine keine allzustarke Dämpfung besitzt und das Tangentialdruckdiagramm angenähert durch eine Sinuskurve dargestellt werden kann.

Ist die Dämpfung zwar zu vernachlässigen, weicht dagegen die Kurvenform stark von der Sinuskurve ab, so tritt an Stelle der rechten Seite von Gleichung (9) die Fouriersche Reihe

$$\Delta P_1' \sin(\omega_1 t + \beta_1') + \Delta P_1'' \sin 2(\omega_1 t + \beta_1'') + \\ + \Delta P_1''' \sin 3(\omega_1 t + \beta_1''') + \ldots\ldots,$$

worin

$\Delta P_1'$, $\Delta P_1''$ usw. die Amplituden der Grundwellen und Oberwellen der Maschine I und

β_1', β_1'' usw. die Winkel bedeuten, um welche die Nullpunkte der betreff. Wellen gegenüber dem Nullpunkt der zusammengesetzten Kurve verschoben sind.

Leiten wir die Gleichung ab, was uns hier jedoch zu weit führen würde, so erkennen wir aus der Lösung, dass neben den bereits erwähnten zwei kritischen Fällen noch weitere *„Resonanzmöglichkeiten"* für $2\omega_1 = \omega_3$, $3\omega_1 = \omega_3$, bezw. $2\omega_2 = \omega_3$, $3\omega_2 = \omega_3$ usw. vorhanden sind. Diese sind allerdings nur dann zu befürchten, wenn $\omega_3 > \omega_1$ ausfällt. Gerade damit muss aber bei *Explosionsmotoren* gerechnet werden, sofern man nicht a priori zu übermässig grossen Schwungmassen greifen will.

6. *Wirkung der Dämpferwicklung.*

Die von *M. Leblanc* im Jahre 1893 entworfene und von der Maschinenfabrik *Joseph Farcot* in Paris zuerst ausgeführte Dämpferwicklung *(Amortisseur)* besteht bekanntlich in einer Art Käfiganker, mit dem die Magnetpole versehen werden, wobei die Enden der Stäbe auf beiden Seiten der Pole durch massive Kupfer- oder Messingbarren miteinander verbunden werden. Die Wirkungsweise einer solchen Dämpferwicklung ist, je nachdem die Maschine ein- oder mehrphasig ausgeführt wird und für sich allein oder mit andern parallel arbeitet, verschieden. Beim *Einphasengenerator* z. B. kann man sich das pulsierende, stationäre Armaturenfeld in zwei Felder von halber Stärke zerlegt denken, die mit der Geschwindigkeit des Synchronismus nach rechts und links rotieren. Von diesen beiden Feldern übt dasjenige, das synchron mit dem Magnetrad rotiert, natürlich keine Wirkung auf die Dämpferwicklung aus, während das zweite, gegenüber den Polen mit doppelter Geschwindigkeit nach rückwärts sich drehende Feld durch die Dämpferwicklung zum grössten Teil aufgehoben wird.

Besässe die Dämpferwicklung gar keine Streuung, so würde das letztere Feld vollständig aufgehoben, und dadurch die Armaturreaktion auf die Hälfte reduziert. Infolge der Streuung beträgt aber die Reduktion nur etwa 30 bis 35 %, was immerhin einer Leistungsvergrösserung von 30 bis 35 % gegenüber einer gewöhnlichen Maschine entspricht.

Etwas anders verhält sich die Dämpferwicklung bei *Mehrphasengeneratoren*. Hier setzt sich nämlich die Armaturreaktion zu einem Drehfelde zusammen, das synchron mit dem Magnetrad dreht und auf den Amortisseur keine Wirkung ausübt. Enthält aber dieses Feld noch höhere Harmonische, so werden diese zum grössten Teil vernichtet. Man erhält also eine bedeutend bessere Spannungskurve.

Diese Wirkungen allein würden jedoch kaum genügen, um die ziemlich hohen Kosten der Dämpferwicklung zu rechtfertigen, wenn diese nicht ausserdem noch die wertvolle Eigenschaft besässe, den Parallelbetrieb bedeutend zu erleichtern. So z. B. hat der Verfasser während seiner Tätigkeit in der Maschinenfabrik Farcot eine Reihe von Einphasen-Schwungradmaschinen ausgeführt, die von Einzylindermaschinen angetrieben waren und trotz des verhältnismässig grossen Ungleichförmigkeitsgrades (etwa $^1/_{55}$) tadellos parallel liefen.

Bei der Ausführung solcher Dämpferwicklungen wird vielfach übersehen, dass diese nur dann vollständig zur Geltung kommt, wenn nicht nur die Stäbe eines Poles, sondern auch die Pole miteinander leitend verbunden sind. Unterlässt man dies, so arbeitet die Dämpferwicklung nur bei stark phasenverschobenen Strömen, während sie bei $\cos\varphi = 1$ fast wirkungslos bleibt.

Auf die äusserst verwickelte Theorie der Dämpferwicklung, die der Verfasser in einer früheren Arbeit *(Electrical World,* 1901, S. 1058) behandelte, soll hier nicht näher eingetreten werden. Sie führt zu dem interessanten Ergebnis, dass die von der Dämpferwicklung ausgeübte synchronisierende Kraft mit dem Ausdrucke $\varepsilon^2 \frac{d\varepsilon}{dt}$ zusammenhängt, also nicht wie gewöhnlich angenommen wird, einfach proportional der Geschwindigkeit zunimmt. Damit wird natürlich die allgemeine Differentialgleichung unlösbar und fallen alle Schlüsse, die aus der vereinfachten Fassung gezogen werden, dahin.

Viel wichtiger als alle derartigen theoretischen Ueberlegungen sind übrigens die Betriebsergebnisse, die durchwegs zu Gunsten der Dämpferwicklung sprechen. So lassen sich zahlreiche Beispiele anführen, wo ein geregelter Betrieb trotz Vergrösserung der Schwungmassen und sonstiger Mittel nicht zu erzielen war, bis man sich zur Anbringung der Dämpferwicklung entschloss. Das gilt besonders für rotierende Umformer und Synchronmotoren, bei denen der Amortisseur heute einen unerlässlichen Bestandteil bildet. Wohl gibt es vereinzelte Fälle, wo die Dämpferwicklung nicht völlig Abhilfe brachte, wieder andere, wo man sie sich ruhig hätte ersparen können, dagegen dürfte es schwer sein, auch nur *einen* Fall namhaft zu machen, wo sie, nachweisbar, eine Verschlechterung des Betriebes brachte.

Dass Generatoren, die von Riemen und Seilen angetrieben werden, weniger zum Pendeln neigen, ist bekannt, obwohl auch hier schon Störungen beobachtet wurden und zwar hauptsächlich bei Seilantrieb. Weniger bekannt scheint eine von *Schüler* herrührende Anordnung zu sein, die ebenfalls den Zweck verfolgt, den Parallelbetrieb zu erleichtern. Sie besteht in einem kleinen

Schwungrad, das lose auf der Generatorwelle sitzt und nach beiden Richtungen durch Federn mitgenommen wird.

Eine derartige Vorrichtung nach dem Entwurfe des Verfassers befindet sich z. B. im physikalischen Institut der Eidgen. Technischen Hochschule an einem Synchronmotor angebracht. Wie sich aus Versuchen ergeben hat, müsste, um die gleiche Wirkung zu erzielen, das Schwungradgewicht des Synchronmotors ganz bedeutend vergrössert werden. Den gleichen Zweck erreichte man übrigens auch, indem man vom Synchronmotor aus eine kleine Maschine mittels Riemen leer mitlaufen liess.

7. *Ungleichförmigkeitsgrad.*

Es mag aufgefallen sein, dass in unsern Untersuchungen der Ungleichförmigkeitsgrad, nach dem der Maschineningenieur gewöhnlich in erster Linie fragt, mit keinem Worte erwähnt ist. In der Tat lag eine Veranlassung hierfür auch gar nicht vor, da dieser ja nur zur Bestimmung des Schwungmoments $G D^2$ dient, das wir auf andere Weise genauer erhalten. Sodann müsste man sich erst einmal darüber im Klaren sein, was eigentlich unter Ungleichförmigkeitsgrad gemeint ist.

Nach Definition stellt er das Verhältnis

$$\delta = \frac{v_{max} - v_{min}}{2\,v} = \frac{v_z}{v} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (33)$$

dar, wobei die zusätzliche Geschwindigkeit v_z in üblicher Weise so berechnet wird, dass man die gesamte überschüssige Energie gleich der kinetischen Energie des Schwungrades setzt. Daraus ergibt sich, sinusförmigen Verlauf des Tangentialdruckdiagramms vorausgesetzt, die bekannte Formel

$$\delta = \frac{\Delta P_1}{2\,a}\left(\frac{60}{\pi n}\right)^2 \frac{9{,}81}{G D} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (34)$$

aus der sich rückwärts $G D^2$ ausrechnen lässt, wenn δ und D gegeben sind. Der so berechnete Ungleichförmigkeitsgrad δ gilt indessen nur für Einzelbetrieb, während bei Parallelbetrieb — und darauf kommt es ja in erster Linie an — ein ganz anderer Wert erhalten wird. Dieser ergibt sich aus der Beziehung

$$\delta_1' = \frac{v_z}{v_1} = \frac{r_1}{v_1}\frac{d\varepsilon'}{dt} = \frac{2}{p_1}\frac{r_1}{v_1}\frac{d\varepsilon_1}{dt} \quad . \quad . \quad (35)$$

In dieser Gleichung kann $\frac{d\varepsilon_1}{dt}$ aus Gleichung (15) berechnet werden, wenn man für $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$ den Wert aus (18) einsetzt, beide Seiten mit dt multipliziert und integriert.

Berücksichtigt man ferner, dass

$$\frac{\Delta P_1}{\omega_1 M_1 v_1} = \frac{\Delta P_1\, 9{,}81}{2\, a_1 G_1 D_1}\left(\frac{60}{\pi n_1}\right)^2 = \delta_1$$

und

$$\frac{2\, r_1}{p_1 v_1}\frac{p_2 \Delta P_2}{\omega_2\, 2\, M_2 r_2} = \frac{\Delta P_2}{\omega_2 M_2 v_2} = \delta_2$$

ist, so erhält man ausgerechnet

$$\left.\begin{aligned}\delta_1' = \delta_1 \Bigg[&-\left(\frac{\omega_1^2 - \omega_3^2 + b_1}{b_1}\right)\cos\omega_1 t - \frac{\omega_1}{\omega_3}\sin\omega_1 t_1 \times \\ &\times \sin\omega_3 (t - t_1) + \frac{\omega_1^2}{\omega_3^2}\cos\omega_1 t_1 \cos\omega_3 (t - t_1)\Bigg] \times \\ &\times \frac{b_1}{\omega_1^2 - \omega_3^2} \\ - \delta_2 \Bigg[&- \cos(\omega_2 t + \psi) - \frac{\omega_2}{\omega_3}\sin(\omega_2 t_1 + \psi) \times \\ &\times \sin\omega_3 (t - t_1) + \frac{\omega_2^2}{\omega_3^2}\cos(\omega_1 t_1 + \psi) \times \\ &\times \cos\omega_3 (t - t_1)\Bigg] \frac{b_1}{\omega_2^2 - \omega_3^2}\end{aligned}\right\} \quad (36)$$

wobei b_1 den weiter oben angegebenen Wert

$$b_1 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}\,\omega_{10}^2$$

besitzt.

Eine kleine Ueberlegung genügt, um einzusehen, dass der *resultierende Ungleichförmigkeitsgrad* δ_1' in einem ganz bestimmten Zeitpunkte t einen Maximalwert erreicht, der sowohl von der Grösse der Verhältnisse $\frac{\omega_1}{\omega_3}$, bezw. $\frac{\omega_2}{\omega_3}$, als auch von der Zahl der im Betrieb befindlichen Maschinen abhängt. Anderseits führt eine nähere Untersuchung der Gleichung (36) zu dem interessanten Ergebnis, dass der Maximalwert $\delta_1'{}_{max}$ nicht, wie bisher angenommen wurde, eine unveränderliche Funktion des Verhältnisses $\frac{\omega_1}{\omega_3}$ bezw. $\frac{\omega_2}{\omega_3}$ ist, sondern, je nachdem dieses Verhältnis grösser oder kleiner als 1 wird, verschiedene Formen annimmt. So z. B. erhält man

im *Falle 1*, wenn eine von einer Dampfmaschine angetriebene Maschine mit x gleichen Maschinen, die mit Turbinen von sehr grossem Gleichförmigkeitsgrad gekuppelt sind, zusammenläuft:

$$\delta_2 = 0, \quad \omega_3 = \omega_{10} = \omega_{20}, \quad \alpha_2 = x\,\alpha_1,$$

$$\text{für} \quad \frac{\omega_1}{\omega_{10}} > 1 \quad : \quad \delta_1'{}_{max} = \delta_1\left(\frac{1}{x} + \frac{2\,\omega_1^2}{\omega_1^2 - \omega_{10}^2}\right)\frac{x}{1+x} \quad (37)$$

$$\text{für } 1 > \frac{\omega_1}{\omega_{10}} > \frac{1}{\sqrt{1+x}} : \quad \delta_1'{}_{max} = \delta_1\left(-\frac{1}{x} + \frac{\omega_1}{\omega_{10} - \omega_1}\right)\frac{x}{1+x} \quad (38)$$

$$\text{für} \quad \frac{\omega_1}{\omega_{10}} < \frac{1}{\sqrt{1+x}} : \quad \delta_{1max} = \delta_1\left(\frac{1}{x} + \frac{\omega_1}{\omega_{10} + \omega_1}\right)\frac{x}{1+x} \quad (39)$$

Daraus ergeben sich für diesen Spezialfall folgende Minimal- und Maximalwerte von $\frac{\delta_{1max}}{\delta_1}$:

			im Minimum	*im Maximum*
für $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} > 1$	und	$x = 1$	0,75	∞
		$x = \infty$	2	∞
für $1 > \frac{\omega_1}{\omega_{10}} > \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$	und	$x = 1$	0,707	∞
		$x = \infty$	2,41	∞
für $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} < \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$	und	$x = 1$	0,5	0,707
		$x = \infty$	0	0,415

Wir sehen also, dass durch den Parallelbetrieb der Ungleichförmigkeitsgrad nicht notwendigerweise verschlechtert, sondern unter Umständen auch verbessert wird. Das letztere trifft auf alle Fälle zu, wenn $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} < \frac{1}{\sqrt{1+x}}$ ist. Selbstverständlich bezieht sich das Gesagte nur auf den Ungleichförmigkeitsgrad, während die Pendelleistung davon nicht berührt wird.

Etwas ungünstiger liegt die Sache beim *Falle 2*, wo gleiche Generatoren mit gleichen Antriebmaschinen zusammenarbeiten, indem hier für $\psi = 90$ und $\frac{\omega_1}{\omega_{10}} > 0{,}4$ der Quotient $\frac{\delta_{1max}}{\delta_1}$ immer grösser als 1 ausfällt.

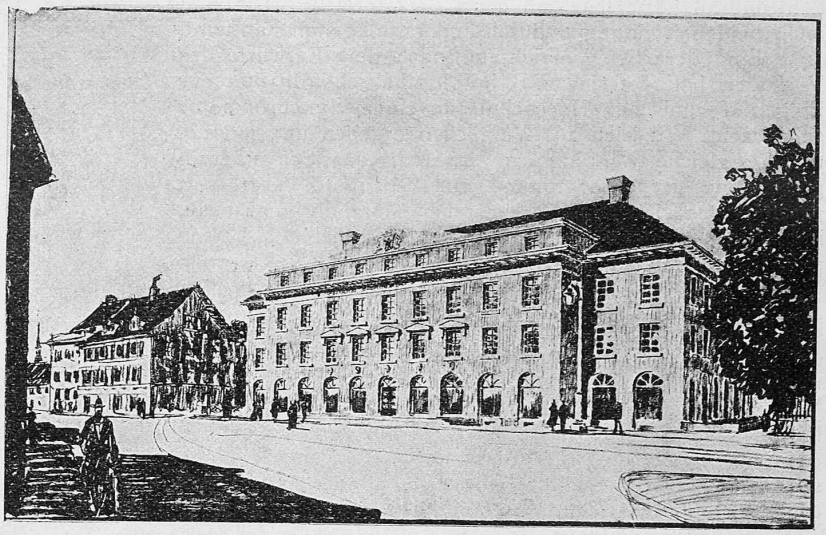
In Anbetracht dieses Umstandes kann man sich fragen, ob es überhaupt noch einen Sinn hat, dem Konstrukteur der Antriebmaschine einen bestimmten Ungleichförmigkeitsgrad vorzuschreiben, der ohnehin auf blosser gefühlsmässiger Schätzung beruht. Richtiger wäre es, wenn dem Maschinenkonstrukteur die nötigen elektrischen Angaben gemacht würden, aus denen er sich das $G D^2$ selbst berechnen kann. Will man aber den Dynamokonstrukteur ebenfalls mit der Verantwortlichkeit für das richtige Zusammenarbeiten behaften, so wird man sich, im Gegensatz zu der bisherigen Praxis, dazu entschliessen müssen, ihm auch die erforderlichen Unterlagen über sämtliche im Betrieb befindlichen Maschinen zu beschaffen, ohne die er mit gutem Gewissen eine Garantie nicht übernehmen kann.

8. *Schlussbemerkungen.*

Ich möchte diese Abhandlung nicht schliessen, ohne daran eine Bemerkung zu knüpfen: Es liegt auf der Hand, dass der praktische Wert aller derartigen Untersuchungen wesentlich davon abhängt, ob sich die Eigenschwingungszahl mit genügender Genauigkeit vorausberechnen lässt. Nun hat *Punga* in zwei höchst bemerkenswerten Aufsätzen (E. T. Z., 1911 und 1914) an Hand von ausgeführten Maschinen nachgewiesen, dass die sogenannte *Rosenberg'sche* Formel zur Bestimmung von ω_{10} (diese unterscheidet sich von der Gleichung (18) nur durch das Fehlen des Koeffizienten ϱ) Zahlen ergibt, die von den beobachteten ziemlich abweichen. Dabei ist ihm allerdings insofern ein Irrtum unterlaufen, als er die Kurzschlussströme aus der Klemmenspannung E statt aus E_0 berechnet. Setzt man die richtigen Kurzschlussströme ein und berücksichtigt man die Veränderlichkeit von ωL mit der Phasenverschiebung, so wird die Uebereinstimmung eine ganz befriedigende. Auch können kleine Abweichungen noch davon herrühren, dass es über-

haupt nicht möglich ist, mit einem gewöhnlichen Messinstrument einwandfrei die Eigenschwingungszahl festzustellen, weil das Instrument selber ein schwingungsfähiges System darstellt und nur auf die resultierenden Schwingungen anspricht.

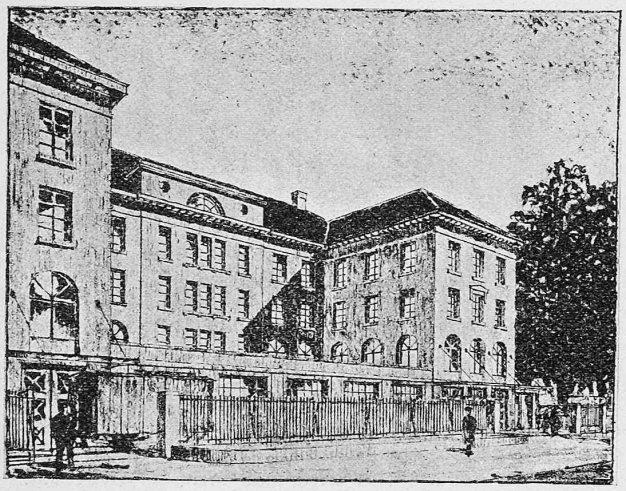
Schliesslich darf auch nicht übersehen werden, dass die eingangs aufgestellte empirische Formel für ϱ eben nur als eine Annäherungsformel zu betrachten ist, die sich zwar zur Bestimmung des Spannungsabfalles als ganz brauchbar erwiesen hat. Ob sie auch für derartige Rechnungen genügend genau ist, muss noch abgewartet werden. Ebenso wird es der Praxis vorbehalten bleiben, zu entscheiden, welche Werte das Verhältnis $\frac{\Delta W}{W}$ annehmen darf, damit noch ein einwandfreier Betrieb möglich ist.

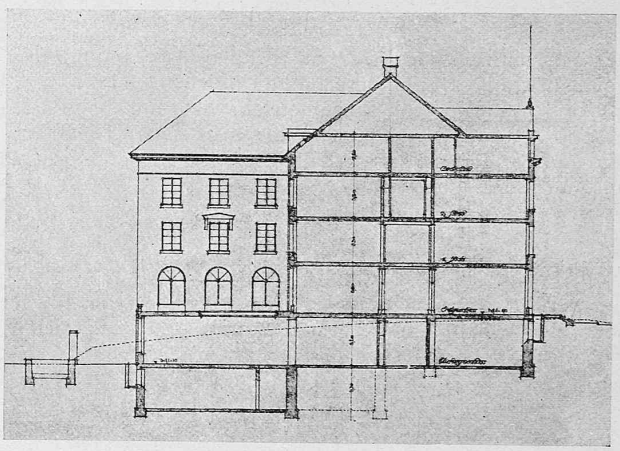


I. Preis, Entwurf Nr. 1. — Arch. *Fritz Widmer* in Bern. — Ansicht von Südwest.

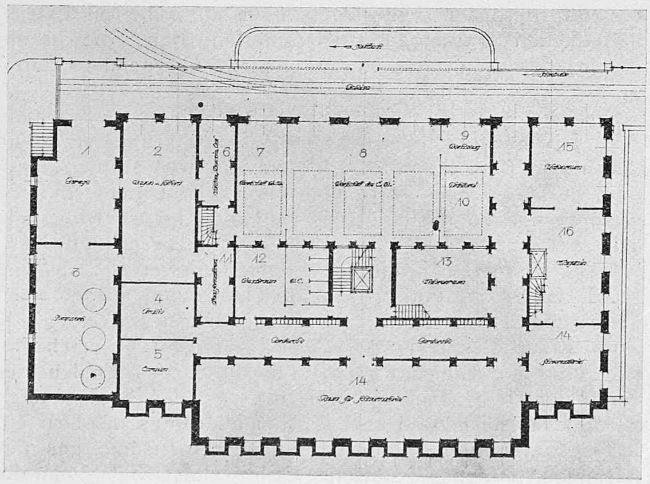
Wettbewerb für ein Verwaltungsgebäude des städt. Elektrizitäts- und Wasserwerks Aarau.

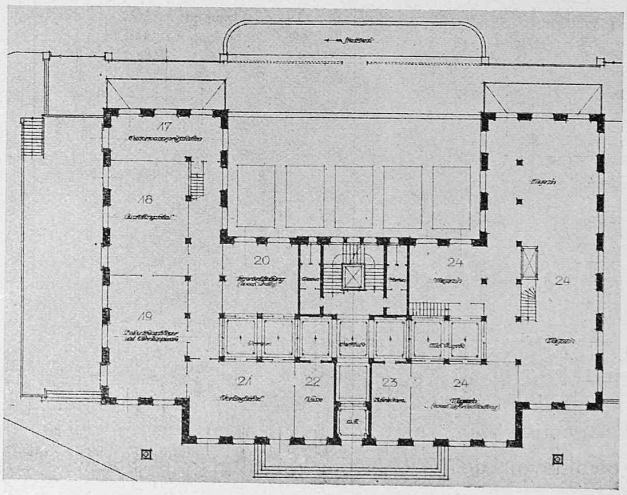
Diesem auf Aarauer Architekten beschränkten Wettbewerb (vergl. Bd. LXXVIII, S. 62) lag ein Raumprogramm zu Grunde, das für die untern Geschosse den den Grundrissen beigefügten Legenden zu entnehmen ist. Der I. Stock enthält die amtl. Bureauräume, der II. war als einstweilen vermietbar anzuordnen, der Dachstock muss eine Abwartwohnung und Magazinräume beherbergen. Wie aus den Schnitten ersichtlich, steigt das Gelände derart an, dass das Untergeschoss ebenerdig zur nördl. Bach-Strasse, das Erdgeschoss ebenso zur „Obern Vorstadt"-Strasse liegt.





Links Ansicht von N-O. — Rechts Schnitt 1 : 500.





I. Preis, Entwurf Nr. 1. — Architekt *Fritz Widmer* in Bern. — Untergeschoss- und Erdgeschoss-Grundrisse 1 : 600.

LEGENDE: 1 Garage, 2 Wagen und Leitern, 3 Pumpwerk, 4 Archiv, 5 Essraum, 6 Kohlen, Benzin, Oel, 7 Werkstatt W. W., 8 Werkstatt E.W, 9 Werkzeuge, 10 Wicklerei, 11 Transformatoren, 12 Waschraum, 13 Motorenraum, 14 Raum für Schwermaterial, 15 Kistenraum, 16 Magazin, 17 Wassermesser-Prüfstation, 18 Ausstellungslokal, 19 Beleuchtungskörper und Wärmeapparate, 20 Lagerbuchhaltung, 21 Verkaufslokal, 22 Kasse, 23 Materialverwalter, 24 Magazin.