

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 26 (1935)
Heft: 7

Artikel: Leistungsparameter und Wachstumsgesetze elektrischer und mechanischer Energiewandler
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060300>

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: 14.01.2026

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

oder Massnahmen zur Reduktion der Elektrowärme-Leistung während der Spitzenzeit des Lieferwerkes usw. Es scheint nach den Ausführungen des Referenten, dass die Elektrowärme-Betriebe ohne weiteres den Bedürfnissen der Werke angepasst werden können. Wir haben bei den Bemühungen zur Einführung der Elektrowärme stets die gegenteilige Erfahrung gemacht, nämlich die, dass das Werk seine Energie nur absetzen kann, wenn es sie in einer Form zur Verfügung stellt, die dem Abnehmer keinerlei Beschränkungen in der Verwendung der Oefen und der Ofenleistungen auferlegt. Bei beidseitigem Verständnis für die gegenseitigen Bedürfnisse und bei Kenntnis der Aequivalenzverhältnisse zwischen Oel und Elektrizität in einzelnen Fällen könnte jedenfalls in der Metallindustrie noch viel Elektrizität als Ersatz für Kohle oder Oel untergebracht werden. Wir haben den Eindruck, dass in Deutschland für die Elektrowärme bedeutend höhere Energiepreise als in der Schweiz bezahlt werden und dass sich dort trotzdem dieses Gebiet der Elektrizitätsverwertung stark entwickelt.

Der Vortragende steht seit 9 Jahren in der deutschen Elektrowärmepraxis. Auch in Deutschland dauerte es lange, bis sich die Industriellen auf Elektrowärme umstellten. Aber nach und nach taten sie es, überzeugt, dass sie sich damit Vorteile zunutzen machen. Dabei gingen sie in der Anpassung an die örtlichen Verhältnisse der Elektrizitätswerke oft sehr weit. Beispielsweise begannen einige nur bei Nacht zu gießen, unter Ausnutzung des Nachtenergiepreises von 3,5 Pfg./kWh. Man darf nie vergessen, dass man die ganze Frage nicht nur vom elektrischen Standpunkt aus betrachten darf. Man muss sie auch vom Material, vom technologischen Standpunkt aus studieren; dann gibt es so viele Vorteile für den Benützer der Elektrowärme, dass der zu bearbeitende Industrielle sich meist überzeugen lässt. Aber es braucht dazu im allgemeinen intensive Arbeit der Werke.

Zur Frage der Aequivalenzzahlen bemerkt der Vortragende folgendes:

Bei einem Durchschnittsölpreis von 13 RM/100 kg frei Keller sind folgende äquivalente kWh-Preise angebracht:

Für keramische Brennöfen nur zum Aufbrennen von Farben mit Temperaturen unter 900° 4 bis 5 Pfg.; zum Garbrennen 1½ Pfg.;

für Messingschmelzöfen mit etwa 50 bis 100 kW Leistung unter Berücksichtigung der Verringerung der Abbrandverluste 5 bis 6 Pfg.;

für Emaillieröfen von 100 kW Leistung etwa 3 Pfg.;

für Glühöfen von 100 bis 200 kW Leistung hängt der Preis ganz davon ab, was gegläht wird. Wir können aber

hier einen Preis annehmen von 2½ bis 6 Pfg. Bei Glühöfen für grössere Blöcke mit einer Leistung von etwa 300 kW kommt ein Energiepreis unter 1,8 Pfg. in Frage.

Alle diese Zahlen sind Betriebszahlen, in denen die Betriebspausen, Sonntage usw. berücksichtigt sind.

Professor Wyssling, Wädenswil: Die Ausführungen des Herrn Vortragenden sind für uns sehr wertvoll. Die mitgeteilten Ergebnisse machen uns Mut und Hoffnung, künftig mehr Elektrowärme absetzen zu können als bisher, allerdings vielleicht nicht im gegenwärtigen Augenblick, wo unsere Metallindustrie wenig flüssiges Kapital hat. Ferner darf nicht vergessen werden, dass unsere Hydroenergiewirtschaft weniger anpassungsfähig ist als eine vorwiegend thermoelektrische wie die Deutschlands. Trotzdem eröffnen aber die überraschend hohen Aequivalenzzahlen, die der Herr Vortragende nannte, Aussichten, die kaum zu hoffen waren. Derart hohe Energiepreise wurden bisher bei ähnlichen Anwendungen in der Schweiz meist bei weitem nicht erzielt. Es ist nicht recht erklärlich, weshalb wir trotz grosser Anstrengungen und trotz wesentlich billigerer elektrischer Energie als in Deutschland bisher auf diesem Gebiet nicht mehr Erfolg hatten. Vielleicht ist es eben doch die Krise, die diesen Misserfolg verursacht. Heute liegen ja Tausende von kW, in Elektrodampfkesseln installiert, brach, weil der Dampfbedarf dort überhaupt fehlt; dabei sind in den Verträgen die Preise der elektrischen Energie meist auf den Kohlenpreis abgestellt, und zwar derart, dass die Dampferzeugung im Elektrokessel eher billiger wird als im Kohlekessel.

Wir dürfen also wohl die zuversichtliche Hoffnung haben, dass der Energieabsatz für industrielle Elektrowärme rasch zunehmen wird, sobald unsere Industrien wieder besser beschäftigt sind.

F. Egloff, in Firma Egloff & Cie. A.-G., Niederrohrdorf: Wir müssen 6 bis 8 Bäder von verdünnter Salzsäure von je etwa 2 m³ Inhalt heizen und fragen uns, ob es besser sei, diese Bäder von aussen oder von innen (Salzsäure in Berührung mit Heizelementen) zu heizen.

Der Vortragende empfiehlt nur Innenheizung; allerdings darf die Temperatur des Säurebades 60 bis 70° nicht überschreiten, sonst nimmt die Verbleibung des Gefässes Schaden.

Das Wort wird nicht mehr verlangt.

Der Vorsitzende dankt Herrn Professor Knoops nochmals für die interessanten Ausführungen, die in der Versammlung ein so reiches Echo gefunden haben; er dankt auch allen Diskussionsrednern für ihre Mitwirkung.

Leistungsparameter und Wachstumsgesetze elektrischer und mechanischer Energiewandler.

Von Professor Dr. W. Kummer, Zürich.

531.8:621.01

Rationell ausgebildete Typenreihen der verschiedenen Arten von Energiewandlern weisen für die einzelnen Typen, nach Massgabe gewisser, je für eine Reihe charakteristischer Wachstumsgesetze einheitliche Ausführungsmerkmale auf. Durch den Leistungsparameter wird die gemäss der umgesetzten Leistung gegebene spezifische Belastbarkeit der Energiewandler zum Ausdruck gebracht, und zwar je pro Einheit einer aus den Hauptabmessungen der Wandler geometrisch einfach darstellbaren Volumengrösse. Für Gleichstrom-Akkumulatoren, für Wechselstrom-Kondensatoren bei fester Frequenz, und für bewegte Maschinen bei derselben konstanten Drehzahl kann dieser Parameter als eine Konstante der bezüglichen Typenreihe gelten. Bei Wechselstrom-Transformatoren für feste Frequenz nimmt der Leistungsparameter jedoch mit der Typengrösse gesetzmässig zu. Die Verbindung des Leistungsparameters mit einem Drehzahlparameter führt bei bewegten Maschinen auf reihenweise gültige Leistungs-Drehzahl-Beziehungen, deren analytische Formulierung durch Hyperbeln verschiedener Grade gegeben werden kann.

Les séries rationnelles de types des différentes sortes de «mutateurs» d'énergie présentent pour chacun des types des caractères d'exécution uniformes, ces caractères dépendant de certaines lois de croissance typiques pour chaque série. Le paramètre de puissance exprime la capacité de charge spécifique des «mutateurs» d'énergie donnée par la puissance en jeu et ceci par unité d'une grandeur volumétrique qui se laisse facilement déduire géométriquement des dimensions principales de ces «mutateurs». Pour les accumulateurs à courant continu, pour les condensateurs à courant alternatif à fréquence constante, et pour les machines tournantes à même vitesse angulaire constante, ce paramètre peut être considéré comme une constante de la série de types considérée. Pour les transformateurs à courant alternatif à fréquence constante par contre, le paramètre de puissance augmente selon une certaine loi avec la grandeur du type. Pour les machines tournantes, la combinaison du paramètre de puissance avec un paramètre de vitesse conduit à des relations puissance-vitesse valables pour toute une série, que l'on peut formuler analytiquement par des hyperboles de différents degrés.

Als eine der vornehmsten Aufgaben einer modern orientierten «Maschinenlehre» ist das Auffinden gemeinsamer Eigenschaften von Typenreihen der verschiedenen Arten von Maschinen und Energiewandlern überhaupt zu betrachten; es sind also, im Gebiete der Energiewandler im allgemeinen, die ruhenden Ausführungsformen mitzubetrachten, trotzdem sie, wegen Fehlens des Bewegungsmerkmals, keine eigentlichen Maschinen sind, einer pedantisch aufgefassten «Maschinenlehre» also fernstehen. Wenn innerhalb einer Typenreihe ein fester Zusammenhang der Belastbarkeit der einzelnen Energiewandler mit ihrer durch ein typisches Raummass oder durch das Gewicht festgelegten Grösse nachgewiesen und zahlenmässig bestimmt werden kann, so führt dies auf einen Grössenparameter, insbesondere auf den Leistungsparameter der Typenreihe. Die Kenntnis solcher Parameter gewährleistet die Normalisierung von Typenreihen auf wissenschaftlich unanfechtbarer Grundlage. Da der Leistungsparameter und die Leistung-Drehzahl-Beziehung, die sich bei bewegten Maschinen mit dem weiter noch bestehenden Drehzahlparameter einstellt, den Grössenunterschied der einzelnen Typen einer Typenreihe funktionsmässig bedingt erscheinen lassen, bilden sie gewissermassen die sichtbaren Formen sog. Wachstumsgesetze der Typenreihen. Die Bezeichnung «Wachstumsgesetze» stammt daher, dass man die einzelnen Typen einer Reihe als mehr oder weniger grosse gewachsene Individuen innerhalb einer Familie erkennt und dann die Begriffe des Grössenunterschiedes und des Wachstumsunterschiedes vermengt.

Den Leistungsparameter p einer Typenreihe stellen wir ganz allgemein durch den Bruch:

$$p = \frac{P}{V}$$

dar, wobei P die Leistung und V das, von Fall zu Fall zu definierende, Bezugsvolumen des aus einer Typenreihe herausgegriffenen Einzeltyps bedeuten. Bei elektrischen Energiewandlern möge P ohne Index stets die Wirkleistung bedeuten, während für die Scheinleistung P_s und für die Blindleistung P_r geschrieben werden soll. Das Bezugsvolumen nennen wir etwa aktives Volumen; es kann mit dem Volumen des aktiven Materials identisch sein oder auch nur den Raum kennzeichnen, innerhalb dessen die Energiewandlung ganz oder wesentlich vor sich geht.

1. Ruhende Energiewandler.

Wir beginnen unsere Betrachtungen mit der Untersuchung derjenigen ruhenden Elektro-Energiewandler, deren Aufbau uns das Bezugsvolumen besonders deutlich erkennen lässt.

Die *Gleichstrom-Akkumulatoren*, und zwar sowohl die Bleiakkumulatoren, als auch die alkalischen Akkumulatoren weisen als aktives Material Elektrodenplatten und Elektrolytlösungen auf. Die natürliche Anordnung ist diejenige parallel gestellter Elektroden, deren Fläche unmittelbar dem tech-

nisch benutzten Nennstrom proportional ist. Andererseits ist der Plattenabstand der Nennspannung des so gebildeten «Sekundärelements» angepasst. Plattenfläche mal Plattenabstand gibt das Bezugsvolumen; Strom mal Spannung führt auf die Leistung. Der Bildung des Leistungsparameters gemäss unserer Definition steht nichts im Wege, seine Konstanz innerhalb von Reihen grösserer Akkumulatortypen ist evident. Für den praktischen Gebrauch eignet sich aber eine auf das gesamte Akkumulatorgewicht bezogene Leistungsziffer besser. Bei stationären Bleiakkumulatoren kann diese Ziffer mit 2 bis 2,5 kW/t pro Akkumulator gegeben werden; bei alkalischen Akkumulatoren dürfte sie etwa 7 bis 10 kW/t betragen.

Die *Wechselstrom-Kondensatoren* benutzen Metallflächen mit dazwischen liegenden Isolierschichten als aktives Material. Im Plattenkondensator liegt eine Bauweise vor, die derjenigen des Akkumulators ähnlich ist, wobei wiederum die Plattenoberfläche dem Wert des Nennstroms proportional ist, und der Plattenabstand der Nennspannung entspricht. Die Verhältnisse bei der andern Hauptbauform, d. h. beim Zylinderkondensator, betrachten wir vergleichsweise. Bei der konstanten Frequenz, für die der Starkstrom-Kondensator bestimmt ist, gilt für die von ihm verlangte Blindleistung P_r , dass sie proportional zu $C \cdot U^2$ ist, wobei mit C die Kondensatorkapazität und mit U die aufgedrückte Spannung bezeichnet sei. Beim Plattenkondensator

ist C proportional zu $\frac{F}{a}$, wobei F die Plattenfläche

und a den Plattenabstand bedeuten; beim Zylinderkondensator ist C analog proportional zu $l \cdot \lg \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$,

wobei l die Zylinderlänge und r_2 den äusseren, r_1 den inneren Zylinderradius bedeuten. U ist nun beim Plattenkondensator proportional a , beim Zylinderkondensator dagegen proportional $r_1 \cdot \lg \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$. Man findet also für die Blindleistung, dass sie beim Plattenkondensator proportional ist zu:

$$\frac{F}{a} \cdot a^2 = F \cdot a$$

während sie beim Zylinderkondensator proportional ist zu:

$$\frac{l}{\lg \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \cdot \left[r_1 \cdot \lg \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \right]^2 = l \cdot r_1^2 \cdot \lg \left(\frac{r_2}{r_1} \right).$$

Da sowohl $F \cdot a$ als auch $l \cdot r_1^2 \cdot \lg \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$ der Dimension nach Volumina sind, denen die Blindleistung proportional ist, so sind die Leistungsparameter der beiden Hauptbauarten von Kondensatoren gemäss unserer Definition ohne weiteres darstellbar. Als Serieneigenschaft hat beim Zylinderkondensator ein konstantes Verhältnis $r_2 : r_1$ zu herrschen, damit

über die Reihe hinweg ein konstanter Leistungsparameter bestehe, wie er für den Plattenkondensator ohne weiteres vorhanden ist. Für den praktischen Gebrauch eignet sich aber eine auf das Kondensator-Gesamtgewicht bezogene Leistungsziffer besser. Für grössere Wechselstrom-Kondensatoren bei 50 Per./s, die zur Kompensation des Leistungsfaktors heute üblich sind, kann diese Ziffer mit etwa 100 bis 200 kVA_r pro t Kondensatorgewicht angegeben werden.

Der *Wechselstrom-Transformator*, dessen Betrachtung wir nun unternehmen, weist als Bezugsleistung die einphasige oder mehrphasige Scheinleistung P_s auf, die bei konstanter Frequenz, konstanter Stromdichte in der Wicklung und konstanter magnetischer Sättigung im Eisen proportional ist dem Produkte, gebildet aus den Gesamtquerschnitten der Wicklungen und dem Querschnitt des Eisens. Dieses Produkt entspricht in einer Typenreihe dem Produkt zweier, das Eisen und das Wicklungsmaterial fassender Volumina, je in der Potenz $^{2/3}$, also einen Ausdruck $V^{4/3}$, wenn mit V das Bezugsvolumen, d. h. das überhaupt aktive Volumen, eingeführt wird. Für den Leistungsparameter p gilt deshalb:

$$p = \frac{P_s}{V} = \frac{c \cdot V^{4/3}}{V} = c \cdot V^{1/3}$$

indem mit c ein konstanter Proportionalitätsfaktor eingeführt wird. Es besteht somit die wichtige Beziehung, dass der Leistungsparameter der Wechselstrom-Transformatoren mit der Typengrösse unbegrenzt wächst. In ähnlicher Weise, oft sogar ge-

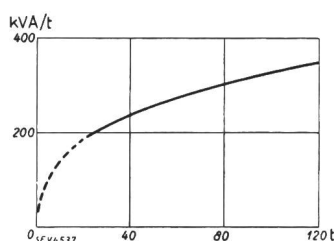


Fig. 8.
Leistungsziffer (kVA/t)
grosser Öltransformatoren
in Funktion des
Gewichtes (t).

nau wie p , wächst aber auch die auf das Transformator-Totalgewicht bezogene Leistungsziffer. In Fig. 1 zeigen wir, wie für das Gesamtgewicht grosser Drehstrom-Öltransformatoren, für 50 Per./s und 70 kV Oberspannung, die in kVA/t ausgedrückte Leistungsziffer tatsächlich etwa wie die dritte Wurzel aus dem Gesamtgewicht mit diesem wächst.

2. Bewegte Energiewandler.

Für die bewegten Energiewandler, d. h. die Maschinen im eigentlichen Sinn, gelangt man zu einem Grössenparameter mittels eines Bezugsvolumens V , das als rotierender oder geradlinig bewegter Zylinder in seiner Bewegungsrichtung s stets eine die Kraft K führende ebene Fläche F aufweist, wobei der Raumänderung $F \cdot \Delta s$ die proportionale Arbeit $K \cdot \Delta s$ entspricht; der Wegänderung Δs entspricht

unmittelbar oder mittelbar ein Drehwinkel $\Delta \varphi$. Bei Bezugnahme auf diesen Winkel stellt $\frac{\Delta s}{\Delta \varphi} = r$ einen

Radius, $K \frac{\Delta s}{\Delta \varphi} = K \cdot r$ also ein Drehmoment dar, das dem durchlaufenen Raum proportional ist. Für den periodisch zurückgelegten Weg s ist der durchlaufene Raum $F \cdot s$ gleich oder proportional dem Bezugsvolumen V . In den Typenreihen der bewegten Maschinen besteht somit Proportionalität zwischen dem umgesetzten Drehmoment und dem gekennzeichneten Bezugsvolumen. Als Grössenparameter erscheint also ein konstantes Verhältnis des in jedem Typ der Reihe normal umgesetzten Drehmoments zum Bezugsvolumen, also ein Drehmomentparameter¹⁾. Für Typenreihen von Maschinen, bei denen jeder Typ die gleiche Drehzahl aufweist, wie z. B. für Synchronmaschinen bei konstanter Frequenz und Polzahl, wird der Drehmomentparameter zum Leistungsparameter. Die Bezugsvolumina können, innerhalb von Maschinen-Typenreihen, als einheitliche oder unterteilte Zylinder stets nach festen Regeln des Verhältnisses der Axenlänge zum Durchmesser ausgebildet werden, womit Bestimmungsregeln der Raumabmessung innerhalb von Typenreihen entstehen. Die Verbindung einer solchen Regel mit dem Drehmomentparameter führt für die Leistung P , bei der Drehzahl n , auf eine Gleichung:

$$P = n \cdot f_1(s)$$

durch die eine Parameterfunktion $f_1(s)$ eingeführt wird. Nun muss jedoch bei den Maschinen auch noch die zu $n \cdot s$ proportionale Bewegungsgeschwindigkeit des periodisch auf dem Wege s massgebend bewegten Maschinenorgans festgelegt werden, wofür eine Gleichung:

$$n \cdot s = f_2(s)$$

gelten muss, durch die mit der Funktion $f_2(s)$ nun ein Drehzahlparameter eingeführt wird. Eliminiert man aus den beiden Gleichungen mit den Parameter-Funktionen $f_1(s)$ und $f_2(s)$ die Grösse s , so entsteht mit der neuen Gleichung

$$f(P, n) = 0$$

die jede Typenreihe kennzeichnende Leistungs-Drehzahl-Beziehung, durch die also den Nennleistungen der einzelnen Typen die ordnungsgemässen Nenndrehzahlen beigelegt werden. Offenbar ist das damit begründete Wachstumsgesetz für eine Typenreihe ebenso repräsentativ, wie ihr Grössenparameter.

Im Hinblick auf den Leistungsparameter der bewegten Maschinen für eine gegebene, feste Drehzahl, beschränken wir uns auf Zahlenangaben über grosse Dieselmotoren und über die allenfalls auf ihren Wellen aufzubauenden elektrischen Generatoren. Bei

¹⁾ Dimensionsgleich und identisch mit dem Drehmomentparameter ist auch der sog. «mittlere Drehschub», mit dessen Hilfe F. Emde in «ETZ» 1922, S. 1430, den schon seit 1891 bekannten Grössenparameter des Dynamobaus veranschaulicht.

der festen Drehzahl $n = 150$ U/min liegt der Parameterwert für Dieselmotoren bei etwa 1000 bis 2000 kW/m³, wobei das Bezugsvolumen durch den Inhalt der Arbeitszylinder des Motors gebildet wird. Für die entsprechenden elektrischen Generatoren liegt der Parameterwert bei etwa 500 bis 1000 kW/m³, wobei das Bezugsvolumen gleich dem Volumen desjenigen Zylinders ist, dessen Durchmesser der Statorbohrung und dessen Axenlänge der sog. Eisenbreite gleich ist.

Es mag hier auch noch darauf hingewiesen werden, dass sich für die Gesamtgewichte von Maschinen innerhalb ihrer Typenreihen im allgemeinen ein konstantes Verhältnis des Normaldrehmoments zum Maschinengewicht nicht feststellen lässt. Der dem Bezugsvolumen unmittelbar oder mittelbar entsprechende Materialaufwand von sog. «aktivem» Material ist nämlich meist nur ein kleinerer Bruchteil des gesamten Materialaufwandes. Es dürfte als Regel gelten, dass mit zunehmendem Normaldrehmoment der Maschine ihr Gesamtgewicht weniger stark als proportional mit dem Drehmoment ansteigt. Für Typenreihen elektrischer Maschinen scheint das Gesamtgewicht etwa proportional mit dem Ausdruck $\left(\frac{P}{n}\right)^{2/3}$ zu variieren.

Wir befassen uns nun mit der Herleitung der Leistungs-Drehzahl-Beziehungen für einige besonders wichtige Typenreihen von Maschinen, wozu wir die beiden Parametergleichungen benutzen.

Für *Elektromaschinen* und für *Kolbenmaschinen* lassen sich übereinstimmende Gleichungen aufstellen. Bei beiden Maschinenarten lässt sich das Bezugsvolumen auf die Konstanz des Verhältnisses «Zylinderdurchmesser zu Zylinderlänge» gründen. Damit lautet die erste Parametergleichung

$$P = k_1 \cdot s^3 \cdot n.$$

In der Form:

$$n^2 \cdot s = k_2$$

besagt die zweite Parametergleichung für Elektromaschinen, dass pro Rotormasse 1 eine maximal zulässige Zentrifugalkraft festgesetzt sei, während sie für Kolbenmaschinen die Festsetzung einer üblicherweise mit der Quadratwurzel aus dem Kolbenhub wachsenden Kolbengeschwindigkeit ausdrückt. Die Elimination von s aus beiden Gleichungen, in denen k_1 und k_2 Konstante sind, gibt die Leistungs-Drehzahl-Beziehung:

$$P \cdot n^5 = k_1 \cdot k_2^6 = \text{konstant}^2)$$

Nun setzen wir:

$$k_1 \cdot k_2^6 = n_l^5$$

wobei wir mit n_l die «spezifische Drehzahl», d. h. die Drehzahl bei der Leistung 1 einführen. So erhalten wir für Elektromaschinen und für Kolben-

maschinen die übereinstimmend lautende Leistungs-Drehzahl-Beziehung in der eindrucksvollen Form:

$$P \cdot n^5 = n_l^5$$

Aus der Übereinstimmung dieses Wachstumsgesetzes für Elektromaschinen und für Kolbenmaschinen erscheint die reihenweise so leicht mögliche Bildung von Kraftwerks-Maschinengruppen, bei denen Kolbendampfmaschinen oder Dieselmotoren mit Gleichstromgeneratoren gekuppelt sind, wohl verständlich. Bei Verwendung von Synchronmaschinen für feste Frequenz kann die Formel:

$$P \cdot n^5 = n_l^5$$

nur die Bedeutung einer Mittelwertlinie mitten durch die treppenhaft, nach Massgabe ganzer Polzahlen, verlaufende Beziehung $f(P, n) = 0$ besitzen. Als praktisches Beispiel einer aktuellen An-

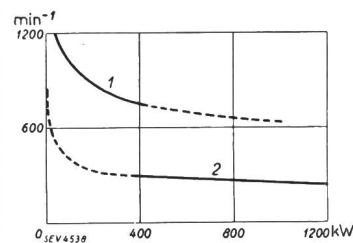


Fig. 2.

Leistungen und Drehzahlen von Fahrzeugs-Dieselelektrogruppen.
1 Kleine Gruppen.
2 Grosse Gruppen.

wendung gibt Fig. 2 die Leistungs-Drehzahl-Beziehung dieselelektrischer Gruppen für Triebfahrzeuge, wobei für die relativ mässig schnell laufenden grösseren Gruppen:

$$P \cdot n^5 = 1000^5,$$

für die besonders schnell laufenden kleineren Gruppen:

$$P \cdot n^5 = 2500^5$$

gesetzt wurde.

Für *Turbomaschinen*, die als weitere besonders wichtige Maschinenart hier noch eingehender berücksichtigt werden sollen, erhalten wir als erste Parametergleichung wieder:

$$P = k_1 \cdot s^3 \cdot n$$

da das vorhin benutzte Bildungsgesetz des Bezugsvolumens auch dieser Maschinenart angemessen ist. Die zweite Parametergleichung lautet jedoch:

$$n \cdot s = k_2,$$

weil für reihenweise gleichen Flüssigkeitsdruck der die Turbomaschinen durchströmenden Medien eine solche Geschwindigkeitsbeziehung gilt. Die Elimination von s aus beiden Gleichungen liefert die Leistungs-Drehzahl-Beziehung:

$$P \cdot n^2 = k_1 \cdot k_2^3 = \text{konstant} = n_l^2$$

In der ausführlicheren Formulierung:

$$P \cdot n^2 = n_s^2 \cdot h^{5/2}$$

ist unsere Leistungs-Drehzahl-Beziehung seit drei Jahrzehnten im Wasserturbinenbau praktisch benutzt, wobei n_s die besondere spezifische Drehzahl

²⁾ Diese Beziehung leiteten wir für normale elektrische Maschinen übrigens schon in Bd. I des «Bulletin», Seite 357 (Dez. 1910) ab.

bedeutet, sie sich sowohl auf die Leistung $P = 1$, als auch auf das Gefälle $h = 1$ bezieht.

Für andere Maschinenarten lassen sich ebenfalls jeweils brauchbare Leistungs-Drehzahl-Beziehungen aufstellen. Der Verfasser hat sich vor einigen Jahren länger mit entsprechenden Untersuchungen befasst und darüber eingehend Bericht erstattet³⁾. Es

³⁾ Vgl. «Schweiz. Bauzeitung» 1927, S. 207 von Bd. 89, sowie «ETZ» 1928, S. 92.

ergab sich dabei besonders das Resultat, dass die Beziehungen sich analytisch stets durch Hyperbeln verschiedener Grade von der allgemeinen Form:

$$P \cdot n^x = n_i^x$$

darstellen lassen. Neben den hier entwickelten, besonders wichtigen Exponenten $x = 5$ und $x = 2$ sind auch $x = 1$ und $x = 3$ nachweisbar.

19. Schweizer Mustermesse 1935.

Die Musterschau der Elektrotechnik scheint an der diesjährigen Messe, die am 30. d. M. ihre Tore öffnet, besonders reichhaltig zu sein. In der letzten Nummer brachten wir eine Liste der Aussteller der Gruppe XVI, Elektrotechnik, und der ausgestellten Gegenstände; so vollständig diese Liste scheint, so wird auch der Fachmann doch erst bei der Besichtigung erfahren, dass dieses oder jenes einzelne Fabrikat, das er bisher nicht kannte, erhältlich ist, und von der Notwendigkeit von Anschaffungen überzeugt werden. Ein Besuch wird auch den Eindruck vermitteln, dass sich unsere Industrie mächtig anstrengt, durch Verbesserung von Bestehendem

und durch Neukonstruktionen über die Depression hinwegzukommen.

Im Bestreben, den Absatz in jeder Weise zu entwickeln, fördert die Werbeabteilung der Mustermesse besonders auch den Besuch aus dem Ausland, wobei sie bereits schönen Erfolg erzielte. Als Helfer stehen ihr über 500 geeignete Propagandastellen im Ausland zur Verfügung.

Im folgenden ergänzen wir unsere Liste aus der letzten Nummer durch Mitteilungen, die uns erst nach Redaktionsschluss zuzugingen. In der Gruppe XVI, Elektrotechnik, stellen folgende weitere Firmen aus:

Buser Sohn & Co., Fasanenstr. 122, Basel. Beleuchtungskörper aller Art.

J. F. Führbach, Pfeffingerstr. 100, Basel. Bügeleisen-Kontakthersteller.

Lampen A.-G., St. Albanvorstadt 95, Basel. Zwei- und mehrflammi Leuchter; Decken-Beleuchtungen; Stehlampen; Nachttischlampen und dergleichen; Bronzeguss mit Holz kombiniert.

E. Weidmann & Co., Müllheimerstr. 53, Basel. Holzleuchter jeder Art.

E. Schmocker, Gutenbergstr. 11, Bern. Elektro-Uhren; Synchronzeitmesser; Synchronzeitmesser mit Gangreserve.

Le Rêve S.A., Genève. Cuisinières électriques; elektr. Kochapparate.

Lumi S.A., Rue des Terreaux 27, Lausanne. Lustres en métal, en bois et métal, en bois. Lampes de tables. Appliques murales.

La Soudure électrique autogène S.A., Av. de Morges, Lausanne. Elektrodien für elektr. Lichtbogenschweissung; Schweissmaschinen; Schweisszubehör.

Johann Göldi, Batterie- und Elementefabrik, Rüthi (Rheintal). Taschenlampen, Batterien und Elemente; Lampenhalter; Asbest-Feueranzünder.

A.-G. der Eisen- und Stahlwerke vorm. Georg Fischer, Schaffhausen. Ausser gussemailliertem Kochgeschirr, Bretzel- und Waffeleisen zeigt die Firma vier + GF + Pilum-Speicherherde in Betrieb.

René Faigle, Stampfenbachstr. 57, Zürich. Elektr. Batterie-Uhren für Bureau, Fabriken, Wohnräume usw.; elektr. Aufzug durch eine Taschenlampenbatterie.

Maschinenfabrik a. d. Sihl A.-G., Sihlfeldstr. 138, Zürich. Patent. selbstansaugende, ventillose Zentrifugal-Pumpe.

Siemens-Elektrizitätserzeugnisse A.-G., Löwenstr. 35, Zürich. Sicherungselemente UZ, TZ, AZ, UZD 1/0 15 und 25, VP, 2 × 15 neu und alt; Sicherungsköpfe K I, K II, K III. Doppelhaubensicherungen 1 ×, 2 ×, 3 × 25/0. Elektrische Waschmaschinen mit und ohne Reservoir. Elektrische Wäschezentrifuge.

Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

Der wirksame Spulenwiderstand bei Hochfrequenz.

621.318.4: 621.396.662.2

Die umfangreiche Untersuchung von S. Butterworth über Massivdraht- und Litzenspulen¹⁾ wurde von B. B. Austin mit teilweise erweiterten Darstellungen für praktische Berechnungen auf wenige Seiten konzentriert²⁾.

Bezeichnungen: D äusserer Spulendurchmesser in cm; b bewickelte Spulenlänge in cm; t Tiefe der Bewicklung in cm; R_s Hochfrequenzwiderstand eines geraden Drahtes in Ohm (Stromverdrängung); R_h zusätzlicher Widerstand durch Wickeln des Drahtes (zusätzliche einseitige Stromverdrängung); $R_e = R_s + R_h$ totaler wirksamer Hochfrequenzwiderstand des Drahtes in Ohm; L Selbstinduktion in

Mikrohenry (μH); L_0 ein Induktionsfaktor; N Zahl der Spulenwindungen; P ein Hilfsfaktor; f die Frequenz in Hertz (Per./s); d Draht-Durchmesser, bei Litze Einzeldraht, in cm (Ausnahme Fig. 3: d in mm); $d_0 = \sqrt{0,07 n}$ Gesamtdurchmesser der Litze in mm; n Anzahl der Drähte einer Litze; S ein Formfaktor; σ ein Faktor, abhängig von n ; R Gleichstromwiderstand des Drahtes in Ohm; K ein Hilfsfaktor; k Faktor, abhängig von n ; ρ spezifischer Widerstand in egs-Einheiten (für Kupfer $\rho = 1700$ egs); $Z = \pi \cdot d \cdot \sqrt{(2f)/\rho}$ (für Kupfer $Z = 0,1078 \cdot d \cdot \sqrt{f}$).

Alles Folgende gilt für Spulen mit kreisförmigen Windungen, und zwar für ein- und mehrlagige Zylinder- und Flachspulen. Reguläre Polygonspulen mit mindestens 6 Seiten werden ersetzt durch Spulen mit kreisförmigen Windungen, wobei der Durchmesser das arithmetische Mittel aus Durchmesser von Um- und Innkreis ist.

¹⁾ S. Butterworth. The effective Resistance of Inductance Coils at Radio Frequency. Experimental Wireless, London, 1926.

²⁾ Experimental Wireless London, Januar 1934.