

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299046

xx  
365



Anwendung und Zukunft

der

# Kondensatoren

in der

Wechselstromtechnik.

Von

**W. von Bisicz,**

Dipl. Elektroingenieur.

Mit 26 Figuren.

*F. No. 25487*



Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1903.

*Handwritten signature or initials*

xx  
365

Alle Rechte, insbesondere das der  
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

II 5389



Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Akt. Nr.

5116 50

Herrn Professor

**Dr. Moritz von Hoor-Tempis**

gewidmet





## Vorwort.

---

Angeregt durch die eminenten Fortschritte in der Erzeugung leistungsfähiger Kondensatoren (Kap. VII), wie auch durch die immer mannigfacheren Verwendungen, die denselben in der Wechselstromtechnik zukommen, habe ich den Versuch gemacht, eine kurze und übersichtliche Zusammenstellung der Kondensatoranwendungen zu geben.

Dabei wurde nur die Starkstromtechnik berücksichtigt. Eine Rücksichtnahme auf anderwärtige, meistens physikalische Verwendungen hätte zu weit geführt.

Die Angaben über das physikalische Verhalten der Dielektrica, sowie die Aufzählung der verschiedenartigen Kondensator-konstruktionen mußten allerdings der Vollständigkeit halber zugefügt werden.

Auf die Theorie der Entladungen ist nur soweit eingegangen worden, wie es zum Verständnis der industriellen Verwendung notwendig schien.

Theoretisch ausführlicher ist bloß eine Verteilungsanordnung von Boucherot behandelt, um den sehr beachtenswerten Fall der Unabhängigkeit der Stromstärke vom Ohmschen Widerstand, also der nicht induktiven Belastung, dem Leser nicht vorzuenthalten.

Viel Originelles zu bieten konnte das Ziel des Büchleins, dessen Grundlage eine Diplomarbeit an der Technischen Hochschule Karlsruhe war, nicht sein.

Es darf sich aber rühmen, die erste und einzige Zusammenstellung in der technischen Weltliteratur über all das zu sein, was auf dem behandelten Gebiete veröffentlicht worden ist.

Keckskemét, Ungarn, im August 1903.

**Der Verfasser.**

## Inhaltsverzeichnis.

---

	Seite
Erstes Kapitel. Allgemeines über die Wirkungsweise der Kondensatoren . . . . .	1
Zweites Kapitel. Kondensatoren in Serieschaltung . . . . .	11
Drittes Kapitel. Kondensatoren im Nebenschluß . . . . .	29
Viertes Kapitel. Verwendung der Kondensatoren zur Stromteilung	40
Fünftes Kapitel. Die Boucherotschen Verteilungsanordnungen . .	51
Sechstes Kapitel. Einiges über die praktische Anwendung der Kondensatoren . . . . .	61
Siebentes Kapitel. Über die Herstellung und die Zukunft der technischen Kondensatoren . . . . .	74
Schlußwort . . . . .	85
Namenregister . . . . .	87

---



## Erstes Kapitel.

# Allgemeines über die Wirkungsweise der Kondensatoren.

---

1. Die Kenntnis der Kondensatoren ist fast so alt, wie die der elektrischen Erscheinungen überhaupt. Nachdem sie Fizeau,<sup>1)</sup> wahrscheinlich als erster,<sup>2)</sup> dem Ruhmkorffinduktor beigelegt hatte, haben sie die mannigfaltigsten Verwendungen erfahren, wovon viele auch allgemeiner bekannt geworden sind.

Im Allgemeinen kann man nun zweierlei Verwendungsarten der Kondensatoren unterscheiden. Solche, bei denen die in Frage kommenden Energiemengen und mit ihnen die Herstellungskosten dieser Apparate nur unwesentlich sind, und solche, wo gerade diesen Umständen Bedeutung zukommt.

Von den Anwendungen, die hinsichtlich der Energiemengen in die erste Kategorie gehören, sind z. B. zu nennen: solche für Telegraphen- und Telephonapparate, wie bei der simultanen Telegraphie und Telephonie, Kabeltelegraphie, Schnelltelegraphie, Telegraphie ohne Draht etc.; dann diejenigen, um Schwingungen von hoher Periodenzahl oder Funken von großer Länge herzustellen, um Ozon zu fabrizieren, Lampen singend

---

<sup>1)</sup> Fizeau, Comptes rendus. 1853. Bd. XXIV, S. 418.

<sup>2)</sup> Fleming, Induction of electric currents. (New-York 1896.) S. 390.

zu machen etc. etc. Neuestens werden Kondensatoren sogar für Festigkeitsversuche<sup>1)</sup> verwertet.

2. Im folgenden sollen allein diejenigen Anwendungen berücksichtigt werden, die in der Wechselstromtechnik, also bei industriellen Verwendungen in Frage kommen, bei denen es daher hauptsächlich auf Preis, Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit der Apparate ankommt. Namentlich soll untersucht werden: wie man mit der Entwicklung der Wechselstromtechnik zur theoretischen Berücksichtigung und praktischen Anwendung von Kondensatoren schritt, von wem die wichtigsten einschlägigen Untersuchungen, Anordnungen, Vorschläge und Versuche ausgingen, wie sich die erzielten praktischen Resultate zu den theoretischen stellten, wie sich dann die Ergebnisse mit der Verbesserung der Kondensatoren gestalteten und was für eine Zukunft einem technisch vollkommen brauchbaren Kondensator bevorsteht.

3. Die Klärung der Ansichten über die Vorgänge in den Dielektriciis trug wesentlich dazu bei, daß man an eine technische Verwertung der Kondensatoren dachte. Hauptsächlich waren es die bekannten Forschungen von Faraday und Maxwell, welche letzterer aussprach,<sup>2)</sup> daß ein Kondensator von der Kapazität  $C$ , dessen Dielektrikum einen Widerstand  $R$  besitzt, durch einen Kondensator mit unendlichem Widerstand und einem dazu parallel geschalteten Widerstand  $R$  ersetzt werden kann.

---

<sup>1)</sup> Hoop, Neuere Beiträge zur Naturgeschichte dielektrischer Körper. ETZ 1901, S. 174.

Auch: Der Zusammenhang zwischen Erscheinungen der elektrischen, magnetischen und mechanischen Polarisierung und die daraus ableitbaren Materialuntersuchungsmethoden. Im: A magyar mérnök és építészegylet közlönye. 1902. Bd. XXXVI, S. 77.

<sup>2)</sup> Maxwell, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus. (Springer 1883.) Bd. I, S. 468.

Und wenn es trotz der zahlreichen Untersuchungen, die die Umwandlung der Energie und die Arten und Größe der Verluste in den Dielektricis zum Gegenstand haben (auf die man noch in Kap. VI zurückkehren wird), noch nicht völlig gelungen ist Klarheit in alle Vorgänge zu bringen, so tut die bekannte Annahme von Maxwell mit dem Verschiebungsstrom und einer Art elektrischer Elastizität bei der Ergründung der Phänomene dennoch den besten Dienst.

4. Vielfach wurde es auch versucht, die Erscheinungen an Kondensatoren mittels Analogien übersichtlicher zu machen.

Bedell and Crehore,<sup>1)</sup> Heinke,<sup>2)</sup> Garbano<sup>3)</sup> verglichen sie mit mechanischen, Janet,<sup>4)</sup> D'Arsonval,<sup>5)</sup> Claude,<sup>6)</sup> Scattergood<sup>7)</sup> und andere<sup>8)</sup> — wie es in der Elektrizitätslehre häufiger ist — mit hydraulischen Vorgängen.

Modelle, um die Vorgänge ad oculos zu demonstrieren, konstruierten Karpen,<sup>9)</sup> sowie Fleming and Ashton.<sup>10)</sup>

<sup>1)</sup> Bedell and Crehore, Some mechanical and electrical analogies. Electr. Rew. 1893. Bd. XXXII, S. 126.

Auch: Analogies entre les formules de mécanique et d'électricité. Lumière él. 1893. Bd. XLVII, S. 487.

<sup>2)</sup> Heinke, Wechselstrommessungen (Leipzig 1897). S. 207. In Voigts Sammlung elektrotechnischer Vorträge. (Stuttgart 1899.) Bd. I, S. 190.

<sup>3)</sup> Garbano, Comment s'effectue la décharge d'un condensateur. Représentation mécanique du phénomène. Eclairage él. 1897. Bd. XII, S. 602.

<sup>4)</sup> Janet, Lessons d'électrotechnique générale. (Paris 1900.) S. 25.

<sup>5)</sup> D'Arsonval, Archives d'électricité médicale. 1896, 15. Febr.

Elect. World 1896. Bd. XXVII, S. 345.

<sup>6)</sup> Claude, Sur la mesure des isolements: Industrie él. 1892. Bd. XI, S. 131.

<sup>7)</sup> Scattergood, On alternating current rushes in condensers. Electr. Rew. 1893. Bd. XXXIV, S. 71.

<sup>8)</sup> Anonym, Electr. World. 1896. Bd. XXVII, S. 295.

<sup>9)</sup> Karpen, Appareil représentant mécaniquement les phénomènes présentés par les condensateurs. Industrie él. 1900. Bd. IX, S. 265.

<sup>10)</sup> Fleming and Ashton, On a model which imitates the behaviour of dielectrics. Phil. Magaz. 1902, S. 240.

5. Am besten lassen sich, wie bereits erwähnt wurde, die Phänomene erklären, indem man zum Begriff einer Elastizität des Dielektrikums übergeht, — eine Elastizität, die mit der mechanischen nicht zu verwechseln, jedoch gut mit ihr vergleichbar ist — und annimmt, daß gute Leiter dem Durchgange der Elektrizität keinen Widerstand entgegensetzen, Dielektrica dagegen die Elektrons anhalten und sammeln, was durch eine Art elastischer Deformation in ihrem Inneren ermöglicht würde, und woher auch der Name „Sammler“ herrührt. Dementsprechend würde dann der Durchschlag des Kondensators einer Überschreitung der Elastizitätsgrenze gleichkommen.

Demnach kann man also einen Kondensator immer als einen Apparat betrachten, der diese (elektrische) Elastizität des isolierenden Mediums ausnützt, und zwar um unter dem Einflusse irgend einer EMK eine mehr oder minder große Verschiebung von Elektrizität zu bewerkstelligen.<sup>1)</sup> Die Energie des geladenen Kondensators ist dann gut mit der Energie der gespannten Feder vergleichbar.

6. Diese allgemeinen Ideen leiteten seiner Zeit auch Hutin und Leblanc<sup>2)</sup> dazu, um es mit einer verallgemeinerten Anwendung der Kondensatoren für die Wechselstromtechnik zu versuchen. Mit welchem Eifer und Geschick sie ihr Thema während einer Reihe von Jahren behandelten, wird an verschiedenen Stellen dieser Arbeit hervorgehen.

Die Ansichten dieser Forscher über das Wesen der Kondensatorwirkung sind teilweise wegen ihrer Einfachheit, teilweise aber wegen des Umstandes erwähnenswert, daß man ihnen allgemein beigeppflichtet hat. Nach ihnen zeigt die Elektrizität in einem Wechselstromkreise ein Verhalten, das

---

<sup>1)</sup> Janet, *Lessons d'électrotechnique générale*. (Paris 1900.) S. 26.

<sup>2)</sup> Hutin et Leblanc, *Etude sur les courants alternatifs et leur application au transport de la force*. *Lumière él.* 1891. Bd. XL, S. 200.



ähnlich dem der mit Trägheit behafteten Substanzen ist. Das Problem, einen Wechselstrom durch einen geschlossenen Stromkreis zu senden, soll dementsprechend analog jenem sein, einen mit Trägheit behafteten Körper in oscillatorische Bewegung zu bringen.

Um nun letzteres zu erreichen, sind nicht allein der Reibungswiderstand, sondern auch die ihn scheinbar vergrößernden Trägheitskräfte zu berücksichtigen, denn aus diesen Trägheitskräften resultiert eine Erhöhung desjenigen Widerstandes, den der Körper der ihn zu bewegen bestrebten Kraft entgegensetzt.

Hat man es nun mit einer bewegenden Kraft zu tun, die harmonisch ist, so könnte man obige, infolge der Trägheit erfolgte Widerstandsvergrößerung dadurch unterdrücken, daß man eine elastische Kraft auf den Körper wirken läßt, der ihm fortwährend das Gleichgewicht zu halten bestrebt ist. Die (elektro-elastische) Kraftquelle nun, die man anwenden muß, um die (scheinbare) Trägheit der Elektrizität zu kompensieren, kann infolge seiner Wirkungsart der Kondensator werden.

Eine solche Vorstellungsweise der Vorgänge mit Kondensatoren dürfte dabei schon den Vorteil haben, daß sie anerkennen und gleichsam ahnen läßt, was für eine vielseitige Verwendung diesen Apparaten zukommt. Um aber den Einfluß der Kondensatoren bei den verschiedenen Schaltungen auch in den Kreis rechnerischer Betrachtungen ziehen zu können, geht man am besten von der Untersuchung der Entladung eines Kondensators und den damit zusammenhängenden Resonanzerscheinungen aus.

7. Daß die Kondensatorentladungen komplizierterer Natur sind, konstatierte bereits Savary (1827). Er fand, daß, wenn die Entladung durch eine Drahtspirale ging, die in eine Nadel

gesteckt war, die Enden der Nadel nicht immer gleichmäßig polarisiert waren.

Mathematisch wurde der Fall zuerst von Thomson<sup>1)</sup> (1853) behandelt, dessen Untersuchungen dann durch Kirchhoff, Rayleigh,<sup>2)</sup> Bedell and Crehore<sup>3)</sup> und andere Forscher<sup>4-7)</sup> vervollständigt wurden.

Danach wird die Entladung eines Kondensators mit der Kapazität  $C$ , durch einen Kreis mit dem Selbstinduktionskoeffizienten  $L$  und den Ohmschen Widerstand  $R$  durch folgende Differentialgleichung charakterisiert

$$\frac{q}{C} + R \frac{dq}{dt} + L \frac{d^2q}{dt^2} = 0,$$

deren allgemeine Lösung bekanntlich

$$q = A_1 e^{-h_1 t} + A_2 e^{-h_2 t}, \quad (e = 2,71828 \dots),$$

wo

$$h_{1,2} = \frac{R}{2L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

ist.

Je nachdem nun  $R^2 \leq \frac{4L}{C}$ , ist die Entladung kontinuierlich oder oscillatorisch.

<sup>1)</sup> Thomson, Transient electric currents. Phil. Magaz. 1853, Juni.

<sup>2)</sup> Raleigh, Phil. Magaz. 1870. Bd. XXXIX, S. 428.

<sup>3)</sup> Bedell and Crehore, Theorie der Wechselströme. (Berlin 1895.) S. 71.

<sup>4)</sup> Kapp, Capacity and selfinduction in alternate current working. Electrician. 1889. Bd. XXVI, S. 197.

<sup>5)</sup> Feldmann, Selbstinduktion und Kapazität im Wechselstromkreise. ETZ 1892. S. 86.

<sup>6)</sup> Guilbert, Selfinduction et capacité. Lumière él. 1893. Bd. XLVII, S. 117.

<sup>7)</sup> Hay, The charging of a condenser. Electrician. 1895. Bd. XXXV, S. 840.

Bei der Anwendung von Kondensatoren in der Wechselstromtechnik haben wir es nur mit letzterer zu tun.

Ihre Periode wird

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

sein.

8. Bei den Anwendungen kommen dann in allererster Linie die sogenannten Resonanzerscheinungen in Frage.

Dieselben wurden anfangs eingehender hinsichtlich ihrer schädlichen Seite untersucht, namentlich infolge der in Deptwort entdeckten Kabeldurchschläge infolge Spannungsresonanz, das sogenannte Ferranti-Phänomen, über das man sich einige Zeit lang keine Rechenschaft geben konnte, obschon Hopkinson bereits 1884 beobachtet hatte, daß die resultierende Klemmspannung unter Umständen kleiner sein kann, wie die Teilspannungen im Netze.<sup>1-6)</sup>

Um zum Begriffe der Resonanz zu gelangen, soll jetzt der (imaginäre) Fall in Augenschein genommen werden, bei dem der Widerstand des Entladekreises eines Kondensators = 0 ist.

<sup>1)</sup> Feldmann, Selbstinduktion und Kapazität im Wechselstromkreise ETZ 1892, S. 107.

<sup>2)</sup> Loppé et Bouquet, Traité des courants alternatifs industriels. (Paris 1896.) Bd. II, S. 431.

<sup>3)</sup> Sahulka, Explication de l'effet Ferranti. Lumière él. 1899. Bd. LI, S. 491.

<sup>4)</sup> Fleming, Electric resonance. Electrician. 1901. Bd. XLVI, S. 659.

<sup>5)</sup> Mordey, Capacity in alternate current working. Electrician. 1901. Bd. XVI, S. 467.

Journal of the Institution of electrical engineers. 1901. Bd. XXX, S. 364.

<sup>6)</sup> Hoor, Capacity in alternate current working. Electrician. 1901. Bd. XLVI, S. 591.

In diesem Falle ist die Periode der Entladung

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

und die Entladung würde von unendlicher Dauer sein, denn die elektrische Energie erleidet gar keine Verluste, da ein Verlust  $RI^2$  wegen  $R=0$  nicht existieren kann. Mit andern Worten, es wird jetzt in der Leitung ein unendlich lang anhaltender Wechselstrom von der Periode  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  fließen.

Dieser Fall ist praktisch allerdings unmöglich, weil ja  $R$  nie gleich Null sein kann. Ist es aber auch undenkbar  $R=0$  zu machen, so ist es doch möglich den unendlich lang andauernden Wechselstrom dadurch hervorzubringen, daß man den Verlust  $RI^2$  durch Einschaltung irgend einer Wechselstromquelle im Kreise immerfort kompensiert. Die Energie einer solchen Quelle kann dann sehr klein im Verhältnisse zu der Energie der Kondensatorenentladung sein.

Damit aber der Wechselstrom im Entladungskreise von Anfang an auch derselbe bleibe, d. h., damit die Amplituden der Stromoscillationen von der Zeit unabhängig sein sollen, muß die Stromquelle, besser gesagt, die eingeführte EMK notgedrungen von derselben Periode sein, wie derjenige Wechselstrom, der bei Entladung des Kondensators im Kreise mit nur Selbstinduktion und Kapazität entsteht, also  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ .

Tritt nun dieser Fall ein, so sprechen wir von Resonanz,<sup>1-4)</sup> denn dann wird der Entladekreis für den Strom,

1) Wilson, Alternate current resonance. Electrician. 1894. Bd. XXXIII, S. 277.

2) Threlfall, On the conversion of electric energy in dielectrics. Phys. Rev. 1902. Bd. XXV, S. 21.

3) Millis, An experimental study of induction phenomena in alternating current circuits (Graph. Darstellung von Resonanzkurven). Phys. Rev. 1902. Bd. XXV, S. 11.

4) Boucherot, Sur l'emploi des condensateurs. Eclairage él. 1900. Bd. XXIV, S. 298.

Auch: The use of condensers. Electrician. 1900. Bd. XLV, S. 935.

und nur für einen Strom, von der Periode  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  „resonieren“, quasi zusammenarbeiten.

Den obigen Weg, um zum Begriffe der Resonanz zu gelangen, wählt man mit Vorteil darum, weil man dann, berücksichtigend, daß man die besprochene Stromquelle auf verschiedenen Arten, wie in Serie oder parallel und in verschiedenen Ausführungen, wie mittels dem Anker einer Dynamomaschine oder durch gegenseitige Induktion wirken lassen kann, sofort ersieht, daß die Verwendung von Kondensatoren im Wechselstrombetriebe eine sehr verschiedenartige werden kann.

9. Der Ausdruck „Resonanz“ selbst ist wegen der Analogie mit den akustischen Erscheinungen eingeführt worden. Denn ähnlich wie der schwingende Körper einen gewissen Ton von bestimmter Höhe dann am leichtesten wiedergeben kann, wenn die Periode des Körpers und des Tones gleich

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{u}{d}},$$

wo  $u$  der Elastizitätsmodul und  $d$  die Dichte des Körpers, so kann ein Stromkreis von der Selbstinduktion  $L$ , in dem sich ein Kondensator mit der Kapazität  $C$  befindet, denjenigen Strom am leichtesten übertragen, der sinusförmig und dessen Periode  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  ist.

Auch ist die Natur der Energie eines Stromkreises mit eingeschaltetem Kondensator mit der Energie eines schwingenden Seiles insofern analog, daß beide zweierlei Arten von Energie besitzen: das Seil wird in jedem Augenblicke eine gewisse Menge kinetischer Energie haben, herrührend von den verschiedenen Geschwindigkeiten seiner einzelnen Teilchen, sowie eine gewisse Menge potentieller Energie, die den Spannungen der einzelnen Teile zuzuschreiben ist. Der Stromkreis

mit dem Kondensator eine gewisse Energie einer Art  $\frac{1}{2} L I^2$ , oft Energie der ponderomotorischen Kräfte genannt, und eine andere von der Form

$$\frac{1}{2C} \left( \int_0^{\cdot} J dt \right)^2.$$

## Zweites Kapitel.

### Kondensatoren in Serieschaltung.

10. Um die Verwendung von Kondensatoren, wenn sie in Serie mit den Dynamos, Transformatoren etc. geschaltet sind, zu untersuchen, kann man sich den in § 8 beschriebenen Resonanzkreis geöffnet und die Enden mit irgend einer Wechselstromquelle, jedoch von der Periode  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  verbunden denken. Solch ein Stromkreis wird sich nämlich so verhalten, wie wenn nur Ohmscher Widerstand in ihm wäre, und dann tritt der Fall ein, bei dem die Kapazität die Selbstinduktion vernichtet.

Bedingung hierfür ist also, daß

$$\frac{4\pi^2 LC}{T^2} = 4\pi^2 c^2 LC = \omega^2 CL = 1,$$

in welchem Falle man manchmal auch von einer richtigen Adjustierung der Kapazität und Selbstinduktion spricht.

Verstehen wir unter scheinbaren Selbstinduktionskoeffizienten noch den Ausdruck

$$L - \frac{1}{\omega^2 C},$$

so wird dieser jetzt Null.

Dabei sei, wie überhaupt für alle folgenden Erörterungen, angenommen, daß die Ströme immer sinusförmig sind. Wie sich dann die erzielten Resultate mit der Stromform modifizieren, soll (Kap. VI, S. 62) später untersucht werden.

Will man also durch einen Kreis einen größeren Wechselstrom hindurchschicken, als den seine Selbstinduktion bei der vorhandenen Spannung durchläßt, so genügt es, einen entsprechend gewählten Kondensator in Serie einzuschalten.<sup>1-3)</sup>

Als interessant ist noch eine von Tesla patentierte<sup>4)</sup> Anordnung zu erwähnen, bei der die Induktionsspulen bereits derartig gewunden sind, daß ihre Kapazität ihre Selbstinduktion kompensiert.

11. Die ersten industriellen Anwendungen der Kondensatoren beruhen auf der oben erwähnten Wirkung der Kapazität, ohne daß man sich aber dabei richtige Rechenschaft über die eigentlichen Gründe gegeben hätte. Der Einfluß der Kondensatoren wurde anfangs überhaupt unrichtig aufgefaßt, denn wie aus den ersten Patentschriften über elektrische Beleuchtung ersichtlich, wollte man sie als eine Art Akkumulatoren benützen, ohne daß die Erfinder eine Ahnung von der Riesengröße der elektrostatischen Kapazitäten gehabt hätten, die nötig wären, um einige hundert Amperestunden aufzuspeichern.

Das zeigen z. B. die Versuche von Jablochkoff gegen 1880. Dieser hatte nämlich erkannt, daß die Zahl seiner Kerzen, die er mit seinem Alternator leuchten lassen konnte, durch Einschaltung eines Kondensators vergrößert, manchmal sogar verdoppelt wurde, gibt aber hierfür in seiner Patentschrift eine geradezu bizarre Erklärung. Anstatt nämlich den Umstand zu berücksichtigen, daß der in Serie geschaltete

<sup>1)</sup> Sumpner, Inductive circuits. *Electrian*. 1893. Bd. XXXI, S. 537.

<sup>2)</sup> Lunt, The neutralisation of selfinduction by capacity. *Elect. Rew.* 1893. Bd. XXXI, S. 478.

<sup>3)</sup> Ryan, Alternate current working VII. (Berechnete Beispiele.) *Electr. World*. 1894. Bd. XXIV, S. 382.

<sup>4)</sup> Tesla, *Elektr. Anzeiger* 1894, S. 219.

*Electr. Engineer*. 1894. Bd. XVII, S. 87.

*Lumière él.* 1894. Bd. LI, S. 432.

*Eclairage él.* 1894. Bd. IV, S. 419.



Kondensator die effektive Leistung der Maschine vergrößert, nimmt er an, daß der Kondensator atmosphärische Elektrizität aus der Luft ansaugt.<sup>1)</sup>

Jablochkoff hat es daraufhin auch mit dem Bau ganz großer Kondensatoren versucht, mit den verschiedensten Materialien als Dielektrica, ohne jedoch einen Erfolg zu erzielen. Seine gewesenen Ingenieure erinnern sich lustig daran, wie eines Tages alle Glaserläden geplündert wurden, um Versuche mit Kondensatoren anzustellen.<sup>2)</sup>

12. Und doch muß man glauben, daß die Kondensatoren gerade bei Beleuchtungsanlagen am meisten berufen sind — wegen der in Frage kommenden kleineren Spannungen — eine Rolle zu spielen. Oft macht man nämlich gegen eine allgemeinere Anwendung der Kondensatoren die teilweise auch gerechtfertigte Einwendung geltend, daß Kondensatoren ja gewöhnlich bei mehreren Tausend Volt arbeiten müssen. Dies gilt aber für Bogenlicht, wo gewöhnlich nur 30—50, höchstens 60—80 Volt — infolge etwaiger Resonanzerscheinungen — in Frage kommen, nicht, außerdem fällt auch der Preis des Kondensators mit dem Quadrate der Spannung. (§ 67.)

13. So ist z. B. von Claude<sup>3)</sup> eine interessante Anwendung der Kondensatoren für Beleuchtungszwecke und zwar um Bogenlampen zu regulieren vorgeschlagen worden. Wechselstrombogenlicht funktioniert bekanntlich, vom geringeren Licht-

<sup>1)</sup> Svinburne, The probable future of condensers in electric lighting. Electrician. 1892. Bd. XXVIII, S. 187.

Auch: Lumière él. 1892. Bd. XLIII, S. 373.

Industrie él. 1892. Bd. I, S. 20.

<sup>2)</sup> Géraldy, L'emploi industriel des condensateurs. Lumière él. Bd. XLIV, S. 253.

<sup>3)</sup> Claude, Observations sur le fonctionnement des lampes à arc à courant alternatif. Bulletin de la société. 1897. Bd. XIV, S. 331.

Auch: Sur l'emploi des condensateurs dans les lampes à arc à courant alternatif. Industrie él. 1897. Bd. VI, S. 249.

effekte ganz abgesehen, nicht mit derselben Präzision wie Gleichstromlicht. Beide Arten Lampen haben eine automatische Regulierung, und damit diese auch gut arbeite, soll einer kleinen Änderung im Abstände der Kohlenstifte immer eine große in der Anzugskraft der den Reguliermechanismus in Bewegung setzenden Elektromagneten entsprechen, um dadurch den anfänglichen Abstand der Kohlenstifte herzustellen.

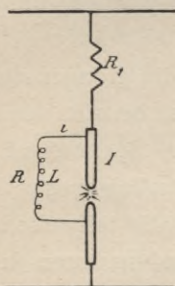


Fig. 1.

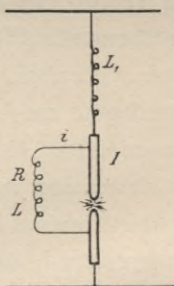


Fig. 2.

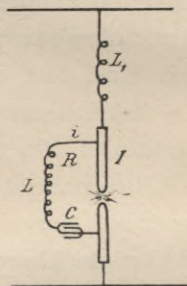


Fig. 3.

Bei Gleichstrom (Fig. 1) genügt dazu ein Vorschaltwiderstand  $R$ , denn je größer die Potentialdifferenz  $E - IR$ , desto intensiver wird die Regulierung wirken.

Bei Wechselstrombetrieb wird aber der Regulierstrom infolge der Selbstinduktion der Spule kleiner und wird auch noch außerdem die Impedanz variieren, da  $L$  sich infolge der Bewegung des Eisenkerns auch ändern muß. Es kann also die Potentialdifferenz zwischen den Kohlenstiften in den weitesten Grenzen sich ändern — und zwar um so leichter, je höher die Periodenzahl des Stromes ist — ohne daß sich die Anziehung des Reguliermagneten merklich ändern würde. (Fig. 2.)

Claude schlägt nun vor (Fig. 3), einfach entsprechend gewählte Kondensatoren im Regulierkreis einzuschalten, wodurch dann die Impedanz kleiner eventuell sogar dem Ohmschen Widerstande gleich würde, wodurch dann ein Flackern des Lichtes zu vermeiden wäre.

Dieser Modus könnte schon darum von Vorteil sein, weil man bei den üblichen niederen Spannungen nicht zu große, also billigere Kondensatoren braucht, die man dann mit kleinen Dimensionen auch leichter an den Reguliermechanismus der einzelnen Lampen anbringen kann.

Eine ähnliche Anwendung von Kondensatoren ist noch von Chesney patentiert worden,<sup>1)</sup> der die Bogenlampen in einen besonderen Zweig des Wechselstromnetzes bringt, und vor, oder neben dem Lichtbogen einen Kondensator einschaltet, der die Selbstinduktion des Lichtbogens aufheben soll, damit diese die Spannung des Glühlampennetzes nicht beeinflusse.<sup>2)</sup>

14. Daß man die Kondensatoren auch beim Betriebe von Wechselstrommaschinen und bei Kraftübertragung mit Wechselstrom gut benützen könnte, erkannte man vor etwa 10 bis 12 Jahren. Die kurze und übersichtliche Zusammenstellung der einschlägigen Untersuchungen soll ein Hauptziel dieser Arbeit sein.

Die einfachste und älteste Anwendung gehört auch speziell in dieses Kapitel, nämlich diejenige, bei der man Kondensatoren in Serie anbrachte, um einzig die Wirkung der Selbstinduktion zu kompensieren.<sup>3-5)</sup>

Ende der 80er und anfangs der 90er Jahre versuchte man vielfach Motoren in Serie in Wechselstromnetze einzuschalten, doch scheiterten diese Versuche — von anderen Ursachen ab-

<sup>1)</sup> Chesney, Electric lighting system. U. S. P. 502702.

<sup>2)</sup> Auch: Fortschritte 1893, S. 478.

<sup>3)</sup> Leblanc, Procédés permettant de diminuer artificiellement les coefficients de self-induction des circuits induits d'une machine d'induction. Bulletin de la société 1898. Bd. XV, S. 504.

<sup>4)</sup> Perry, Coil and condenser in series. Electrician 1893. Bd. XXXI, S. 307.

<sup>5)</sup> Berg, Compensation of line drop in alternating current circuits. Electr. World 1900. Bd. XXXV, S. 60.

gesehen — anfänglich daran, daß man den größten Teil der Netzspannung dazu verwenden mußte, um den Strom durch den Motor überhaupt nur durchzutreiben, wodurch also die GegenEMK der Motoren stark sank.<sup>1)</sup>

Stanley<sup>2-4)</sup> schlug darum in einer Versammlung der amerikanischen Elektriker zu Buffalo eine Anordnung vor — die er dann in der Sitzung des Chicago Electric Club (18. I. 1891) auch praktisch vorführte bei der durch Einschaltung eines Kondensators ermöglicht wurde, Motoren mit Strömen von kleiner Spannung, wie z. B. der Sekundärkreis eines Transformators liefert, zu speisen. (Fig. 4.)

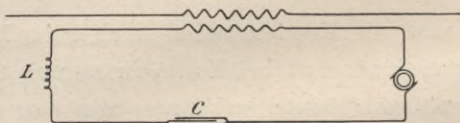


Fig. 4.

Die Anordnung ist an und für sich so einfach, daß ihre Diskussion unnötig erscheint.<sup>5)</sup>

Diese Motoren arbeiten dann auch bei 100 Volt, ohne Kondensator hätte man aber 9000 Volt brauchen müssen, um den Strom durch die Wickelung zu treiben.<sup>6-7)</sup> Für Motoren von  $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{4}$  PS gibt Stanley allerdings nur 60—70%, für solche von 2—5 PS 75% Wirkungsgrad an, was aber nicht

<sup>1)</sup> Anonym, Electr. World 1900, S. 451.

<sup>2)</sup> Stanley, Kelly and Chesney, Method of Working condensers. U. S. P. 455 773, 505 859, 505 860. E. P. 9522 (1891).

<sup>3)</sup> Kelly, Electrical condenser. U. S. P. 508 887.

<sup>4)</sup> Anonym, Les moteurs à courants alternatifs Stanley-Kelly. Electricien. (2<sup>me</sup> série.) 1892. Bd. III, S. 228.

<sup>5)</sup> Electr. World. 1893. S. 325.

<sup>6)</sup> Silvanus Thompson, Mehrphasige elektr. Ströme und Wechselstrommotoren. (Halle 1896.) S. 169.

<sup>7)</sup> Oudin, Standard poliphase apparatus. (New-York 1900.) S. 87.

so sehr an der Anwendung von Kondensatoren, wie mehr an der Konstruktion der Motoren liegen konnte, da ja diese Versuche noch in 1891 ausgeführt worden sind, zu einer Zeit also, wo man mit dem Bau von Wechselstrommotoren erst begonnen hatte.

Eine von Tesla<sup>1)</sup> patentierte Schaltung ist der Stanley'schen wesentlich gleich.

15. Eine weitere solche Anwendung von Kondensatoren bezweckt der interessante Vorschlag von Hutin et Leblanc,<sup>2)</sup> und zwar um in Serie geschaltete Synchrongeneratoren, die durch verschiedene Antriebsmaschinen betrieben werden, in Gang zu halten.

Wie werden sich nämlich zwei Synchrongeneratoren, die auf demselben Kreise arbeiten, verhalten? (Fig. 5.)

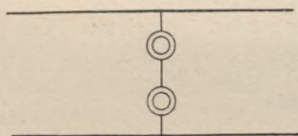


Fig. 5.

Man kann den Beweis führen, daß sie, wenn ihre Anker-  
spannungen nur ein wenig verschieden sind, z. B.

$$E = E_0 \sin \frac{2\pi t}{T}$$

und

$$E' = E_0 \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \varphi \right)$$

notgedrungen aus dem Tritt fallen müssen.

<sup>1)</sup> Tesla, U. S. P. 455067.

Auch: Fortschritte 1891. S. 421.

<sup>2)</sup> Hutin et Leblanc, Etude sur les courants alternatifs et leur application au transport de la force. Lumière él. 1891. Bd. XL, S. 314.  
v. Bisicz, Kondensatoren.

Da — wenn  $I, R, L$  sich auf das Netz beziehen — die Leistung der ersten Maschine, wie man zeigen kann:

$$1. \quad \frac{1}{t} \int_0^t E J dt = \frac{E_0^2}{2} \cdot \frac{R(1 + \cos 2\pi\varphi) - \frac{2\pi}{T} L \sin 2\pi\varphi}{R^2 + \frac{4\pi^2}{T^2} L^2},$$

die der zweiten aber:

$$2. \quad \frac{1}{t} \int_0^t E' J dt = \frac{E_0^2}{2} \cdot \frac{2R + \frac{2\pi}{T} L \sin 2\pi\varphi}{R^2 + \frac{4\pi^2}{T^2} L^2}$$

sein wird, ersieht man sofort, daß der Ausdruck 2. immer größer als 1. sein muß. Daraus folgt aber, daß die zweite Maschine immer mehr Energie abgeben und sich also fortwährend verlangsamten wird. Auch die Phasenverspätung nimmt so immer zu, und der Synchronismus wird sich schließlich nicht mehr erhalten können.<sup>1-2)</sup>

Bezeichnen wir jetzt mit scheinbaren Selbstinduktionskoeffizienten wieder (S. 11) den Ausdruck

$$L - \frac{1}{\omega^2 C},$$

der also in 1. und 2. wegen  $C=0$  mit  $L$  identisch wird, so genügt es, diesen Ausdruck durch Einschaltung einer entsprechenden Kapazität negativ zu machen, damit die erste Maschine mehr Arbeit absorbiere. Aus den Formeln kann man das sofort ersehen.

<sup>1)</sup> Boucherot, Couplage des alternateurs en tension. Electricien. Bd. XIV, S. 1073.

<sup>2)</sup> Blondel, Couplage et synchronisation des alternateurs. Lumière él. 1892. Bd. XVI, S. 409.

Dann aber wird diejenige Maschine einen Vorsprung nehmen, die sonst durch die Anfangsbedingung:

$$E' = E_0 \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \varphi \right)$$

verlangsamt würde, und der Synchronismus kann folglich bestehen bleiben.

16. Gilt es nun die Kompensierung der Selbstinduktion durch Kapazität wirklich praktisch auszuführen, so besteht die Hauptschwierigkeit darin, daß man für große Energiemengen sehr große, also teure Kapazitäten braucht, da die maximale Energie, die ein Kondensator aufnehmen kann, bekanntlich:

$$W = \frac{1}{2} C E^2$$

ist und man mit  $E$  aus praktischen und konstruktiven Gründen nicht über eine gewisse Grenze hinaus kann.

Wie man dieser Schwierigkeit bei der Konstruktion der Kondensatoren abzuhelfen versucht hat, wird im Kap. VII behandelt werden. Hier sollen nur zwei Dispositionen erwähnt werden, die ermöglichen, die Dimensionen der zur Bekämpfung der Selbstinduktion nötigen Kondensatoren zu reduzieren.

Die eine Methode wäre, daß man den Selbstinduktionskoeffizienten des Stromkreises künstlich vergrößert. Man sah nämlich früher (S. 11), daß die Kapazität, die eine gewisse Selbstinduktion annulliert, im umgekehrten Verhältnisse zu dieser steht, oder:

$$\omega^2 L = \frac{1}{C}.$$

Nun liegt aber der Nachteil dieses Verfahrens, wie Mehraufwand an Draht, hohe, also gefährliche Spannungen, etc., auf der Hand.

Um so höhere Bedeutung hat dafür die andere Methode, die darin besteht, daß man die Kapazität, mit der man eine Selbstinduktion bekämpfen will, nicht direkt in den betreffenden Stromkreis einschaltet, sondern erst die primäre Wickelung eines Transformators da anbringt und den Kondensator im Sekundärkreise wirken läßt, was übrigens auch teilweise der eben besprochenen Vergrößerung der Selbstinduktion gleichkommt.

Da  $W = \frac{1}{2} C E^2$ , so wird, wenn wir auf eine höhere Spannung transformieren, diese Disposition große Vorteile mit sich bringen, denn sie erlaubt, daß man die Dimensionen der zur Kompensierung der Selbstinduktion nötigen Kapazität stark reduziere, welchen Umstand man dann wieder dazu benützen könnte, um den Abstand zwischen den Kondensatoren zu vergrößern und die festen Dielektrica aufgebend, flüssige — wie z. B. Petroleum — verwenden zu können. Bei diesen werden nämlich die Hysteresiserscheinungen weniger ausgesprochen (Kap. VI), und der ganze Kondensator einfacher, leichter konstruierbar, durch Funken nicht zu zerstören und außerdem auch leichter regulierbar.

Auf die Vorteile dieser Methode haben bereits Hutin und Leblanc in ihrer oft zitierten Arbeit hingewiesen. Eingehend haben den Fall untersucht: als erster Korda, dann Sahulka, Boucherot, Bedell and Crehore, Steinmetz, Pupin, Dunstan, Russel und andere.

17. Korda<sup>1)</sup> hat unter Annahme von Sinusströmen von kon-

<sup>1)</sup> Korda, Théorie d'un transformateur intercalé dans le circuit d'un condensateur. Comptes rendus. 1892. Bd. CXV, S. 331, 411.

Auch: Théorie d'un condensateur agissant par l'intermédiaire d'un transformateur. Industrie él. 1892. Bd. I, S. 483.

The theory of a condenser placed in the secondary circuit of a transformer. Elect. Rew. 1892. Bd. XXXIII, S. 423.

Condensers in alternate current supply. Elect. Rew. 1892. Bd. 31, S. 687.



stanter Periodenzahl und eines Transformators mit konstantem Induktionskoeffizienten, sowie eines Kondensators, dessen Wider-

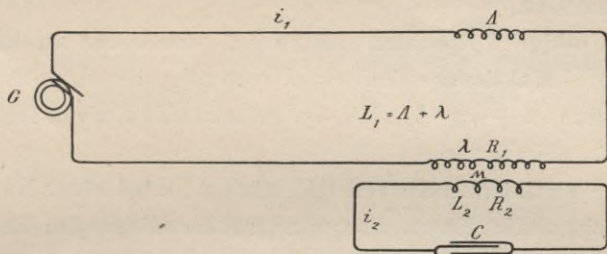


Fig. 6.

stand unendlich ist, die Differentialgleichungen dieses Problems aufgestellt. Da die Integration derselben trotz den obigen ver-

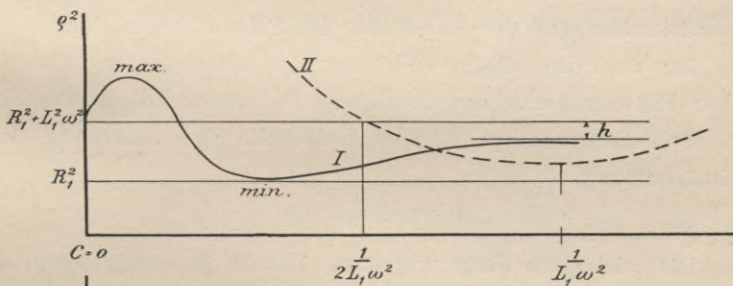


Fig. 7.

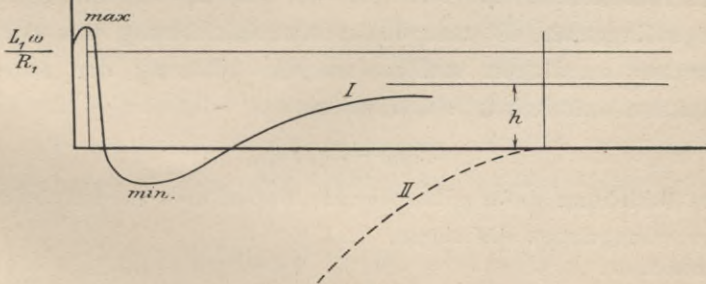


Fig. 8.

einfachenden Annahmen zu komplizierten Formeln führt, übergehe ich dieselben.

Korda stellt dann auch das Verhalten der Kapazität (Abszissen) zur Impedanz und zur Phasenverschiebung graphisch dar.

Ist obige Disposition vorgelegt, wo  $A$  der zu kompensierende Induktionskoeffizient,  $\lambda$  und  $L_2$  die des Transformators und  $A + \lambda = L_1$  sind, so nehmen die Kurven folgenden Verlauf. (Fig. 7 und 8.)

Die punktierten Kurven (II) würden dabei einer Kapazität entsprechen, die direkt, also ohne zwischenliegenden Transformator auf die Selbstinduktion  $A$  wirkt.

Das wesentlichste bei der Darstellung ist wohl der Umstand, daß man ersehen kann, daß die Kapazität auch einen von 0 verschiedenen Wert hat, bei dem der Einfluß des Sekundärkreises auf die Impedanz des Primärkreises doch Null ist, für den die einzige Wirkung des Kondensators also in einer Phasenverschiebung besteht. Die Anwesenheit des Sekundärkreises bedingt folglich immerhin eine Änderung der Primärleistung,

$$W = E_0 J_0 \cos \varphi.$$

Die wichtigste Folgerung von Korda ist, daß, wenn  $n_1$  die Anzahl der primären,  $n_2$  die der sekundären Windungen am Transformator und ferner  $A = 0$ , also  $L_1 = \lambda$ , und  $C_0$  diejenige Kapazität, die man direkt ohne Mitwirkung des Transformators anbringen mußte, um die Wirkung der Selbstinduktion aufzuheben<sup>1)</sup>: daß sodann

$$C : C_0 = 2n_1^2 : n_1^2$$

eine Beziehung dafür gibt, wie die Kapazitäten in den beiden Anwendungsarten differieren.

<sup>1)</sup> Das wäre z. B. der Fall, wenn man die Selbstinduktion einer Maschine so aufheben wollte, daß man seine Ankerwicklung als Primärkreis nimmt, auf dem man dann den Sekundärkreis mit Transformator anbringt.

Ist  $A > 0$ , so gilt

$$C : C_0 = 2 \left( 1 + \frac{A}{2} \right) n_1^2 : n_2^2.$$

18. Sahulka, der diesen Fall gleichfalls untersucht<sup>1)</sup> und Kordas Arbeit kontrolliert hat, kommt zu dem Resultate:

$$C : C_0 = \left( 1 + \frac{A}{\lambda} \right) n_1^2 : n_2^2$$

und letzteres ist richtiger.

Der Widerspruch um den Faktor 2 ist nämlich dadurch erklärlich, daß Korda in seiner ersten Abhandlung (C. R. CXV, S. 331) infolge eines Vorzeichenfehlers von einer falschen Gleichung ausgeht. Ein Auszug dieser Abhandlung wurde nun von der Industrie él. veröffentlicht, die nachträgliche Korrektur aber, die Korda in den C. R. CXV, S. 411 brachte, nicht. Hätte Sahulka die Originalkommunikation und nicht den Auszug beobachtet, so hätte er auf den Widerspruch in den Resultaten nicht mehr hinweisen dürfen.

19. Pupin<sup>2)</sup> behandelt den obigen Fall nur kurz um das Hauptgewicht darauf zu legen, daß zwischen der Neutralisation der Selbstinduktion durch Kapazität und der Resonanz unter Umständen ein Unterschied existieren kann, denn erfolgt die Neutralisation mit Hilfe von Transformatoren, so ist es, wie er zeigt, gegebenenfalles nicht ausgeschlossen, daß der Kondensator den Primärstrom schwächt. Auch findet er, daß es für denselben Wert der Kapazität verschiedene Periodenzahlen gibt, bei welchen die Induktanz des Primär-

<sup>1)</sup> Sahulka, Verwendung der Kondensatoren im Wechselstrombetriebe. E. T. Z. 1893, S. 282.

<sup>2)</sup> Pupin, Electrical consonance. Electr. World 1895. Bd. XXV, S. 168, 313.

Feldmann, Resonanz und Konsonanz. ETZ. 1897, S. 94, 104.

kreises verschwindet. Dementsprechend beantragt er für solche Fälle die Bezeichnung „Electrical consonance“.

Steinmetz<sup>1)</sup> knüpft direkt an die Arbeit Pupins an und gibt die praktische Darstellung der Fälle.

Dunstan,<sup>2)</sup> der gleichfalls berechnet, unter welchen Bedingungen in einem Stromkreise, der mit einem zweiten induktorisch verbunden ist, Resonanz eintritt, kommt auch zu dem Resultate, daß, wenn der Sekundärkreis Selbstinduktion und Kapazität enthält, es für den Primärkreis zwei Eigenschwingungen gibt, bei der die Kompensation stattfinden kann.

Von Bedell und Crehore<sup>3)</sup> und auch von Russell<sup>4)</sup> werden nicht so sehr die praktischen Anwendungen der Kondensatoren zur Bekämpfung der Folgen der Selbstinduktion untersucht, wie mehr spezielle Fälle, z. B. ihr Verhalten bei konstantem Primärstrom, konstanter Spannung am Kondensator etc., vorwiegend graphisch erörtert. Diese Untersuchungen sollen hier auch übergangen werden. Ich behalte mir aber vor, auf dieselben und auch auf den von Korda behandelten Fall in einer anderen Arbeit zurückzukommen. Hingegen ist, was die industrielle Verwendung der Kondensatoren anbelangt, eine Abhandlung Boucherots — mit Hutin und Leblanc, einer der erfolgreichsten Forscher auf diesem Gebiete — weit- aus wichtiger.

20. Boucherot<sup>5)</sup> behandelt dieselbe Frage wie Korda

1) Steinmetz, Electrical consonance. Electr. World 1895. Bd. XXV, S. 259.

2) Dunstan, Resonance in circuits possessing self and mutual inductance, resistance and capacity. Electr. World. 1896. Bd. XXVII, S. 79.  
Auch: Fortschritte 1896, S. 150.

3) Bedell and Crehore, Action of a transformer with a condenser in parallel with the secondary. Electr. World 1894. Bd. 24, S. 127.

4) Russel, Formulae for transformers. Electrician 1897. Bd. XXXVI, S. 727.

5) Boucherot, Sur les condensateur agissant par transformateurs d'induction et directement. Lumière él. 1893. Bd. XLVII, S. 151.

und Nachfolger, d. h. er untersucht, in welchen Fällen der Kondensator direkt und wann er durch Vermittelung eines Transformators wirken soll. Er begnügt sich aber nicht mehr mit dem Aufsuchen der in beiden Fällen notwendigen Kapazitäten, er macht vielmehr auch einen Vergleich zwischen den in beiden Fällen aufzuwendenden Kapitalien. Dabei stützt er sich auf die Annahme, daß der Preis eines Kondensators seiner Kapazität und dem Quadrate der von ihm auszuhaltenden Maximalspannung proportional ist, d. h.

$$P = \gamma C E^2,$$

wo  $\gamma$  vom Material abhängig ist und auch Preis eines Volt-Farads genannt werden kann.

Wie weit diese Annahme gerechtfertigt ist, wird noch an anderer Stelle (§ 55) untersucht werden. Dies aber einmal angenommen, wird, wenn der Selbstinduktionskoeffizient eines Stromkreises, in dem der Strom  $J_{eff}^2$  fließt,  $L$  ist, der Preis des Kondensators

$$P = \gamma L J_{eff}^2$$

sein.

$L$  muß nämlich mit einer Kapazität  $C = \frac{1}{\omega^2 L}$  annulliert werden, und da die benötigte Spannung

$$E_{eff} = \frac{J_{eff}}{\omega C} = J_{eff} \omega L$$

ist, folgt für den Preis:

$$P = \gamma \frac{1}{\omega^2 L} (J_{eff} \omega L)^2,$$

Boucherot<sup>1)</sup> zeigt nun, daß, wenn man einen Selbstinduktionskoeffizienten  $L$  annullieren will, und dabei nicht

<sup>1)</sup> Seine Ableitung soll kurz angedeutet werden: Sind  $J_0 \sin \omega t$  und  $i$  die Momentanwerte der Ströme, fließt also im Primärkreis ein Sinusstrom, und hat der Sekundärstrom notgedrungen die Form:

$$1. \quad i = x \sin \omega t + y \cos \omega t,$$

direkt verfährt, sondern den Kondensator von der Kapazität  $C$  im Sekundärkreis eines Transformators einschaltet, in dessen

so gelten für den Primärkreis die Gleichung:

$$2. \quad M \frac{di}{dt} + r J_0 \sin \omega t + l J_0 \omega \cos \omega t = E,$$

für den Sekundärkreis:

$$3. \quad M J_0 \omega \cos \omega t + \varrho i + \lambda \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = 0.$$

Wird jetzt der Wert von 1. in 3. eingesetzt, so erhält man:

$$4. \quad i = -\omega M J_0 \frac{\varrho \cos \omega t + \left( \omega \lambda - \frac{1}{\omega c} \right) \sin \omega t}{\varrho^2 + \left( \omega \lambda - \frac{1}{\omega c} \right)^2}.$$

Sei nun  $i$  aus 4. und 2. eingesetzt,  $\varrho$  vernachlässigt und der Fall eines idealen Transformators betrachtet, für den bekanntlich  $\lambda l = M^2$ , dann erhält man als Induktanz des Transformators:

$$-\frac{\omega l}{(\omega^2 \lambda c - 1)},$$

die mit einer Kapazität von der Größe

$$K = c \frac{\lambda}{l} - \frac{1}{\omega^2 l}$$

annulliert werden kann.

Da nun andererseits

$$K = \frac{1}{\omega^2 L}$$

sein soll, so wird

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} \frac{L + l}{\lambda}.$$

Um nun zum Preise zu gelangen, muß man diejenige Spannung  $E_{eff}$  bestimmen, für welche man den Kondensator bauen muß. Wird wiederum in 4.  $\varrho = 0$  und  $\lambda l = M^2$  gesetzt, so ist

$$i = -\frac{(L + l) J_0}{\sqrt{\lambda l}} \sin \omega t \quad \text{und} \quad i_{eff} = -\frac{L + l}{\sqrt{\lambda L}} J_{eff}.$$

Da aber

$$E_{eff} = \frac{i_{eff}}{\omega c}$$

Primärwicklung der Strom  $J_0 \sin \omega t$  von der Periodenzahl  $c$  fließt, und dessen Induktionskoeffizienten  $l \lambda M$ , Widerstände aber  $r$  und  $g$  sind: daß sodann der Preis des Kondensators

$$P = \gamma' L J_{eff}^2 \frac{L+l}{l}$$

oder bei gleich teuren Volt-Farads:

$$P = \gamma L J_{eff}^2 \frac{L+l}{l}$$

sein wird; die Preise mit und ohne eingeschalteten Transformator also um das  $\frac{L+l}{l}$ -fache differieren werden.

Dieses elegante Resultat dürfte aber für die Praxis keine große Bedeutung haben. Denn in Wirklichkeit wird das Problem noch durch den Umstand kompliziert, daß die Anwendung von Transformatoren Energieverluste nach sich zieht, die relativ um so beträchtlicher sind, je entfernter der Transformator von seiner Maximalbelastung arbeitet.

Boucherot sucht zwar diesem Umstande auch Rechnung zu tragen und kommt dabei zu dem Schlusse, daß, wenn die Selbstinduktion des Primärkreises gerade so groß ist, wie diejenige, die man vernichten will, die Anbringung des Transformators nur dann lohnend ist, wenn ein Volt-Farad bei Hochspannung die Hälfte oder weniger als ein Volt-Farad bei Niederspannung kostet; das Resultat wird aber eben immer von den Werten, die man den Transformatorkonstanten gibt, abhängen. Bei Berücksichtigung des Transformatorpreises, der

wird

$$E_{eff} = \omega L \sqrt{\frac{\lambda}{L}} J_{eff}$$

und schließlich

$$\gamma' C E_{eff}^2 = \gamma' L J_{eff}^2 \frac{L+l}{l} \text{ q. e. d.}$$

Wattverluste in demselben und des Plus an Isolationsmaterial, die durch die hohe Spannung involviert wird, findet Boucherot, daß der Kondensator nur dann nicht direkt wirken soll, wenn der Preis des Volt-Farads bei Hochspannung nur den  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{5}$  Teil desjenigen bei Niederspannung ausmacht. Nun war das aber in 1893, und seitdem dürften sich die Verhältnisse — angesichts der großen Verbesserungen im Transformatorenbau — stark geändert haben.

Aber alle mathematischen Formulierungen (auch § 55) über den Preis der Kondensatoren haben eine gute Seite: sie erlauben bei allen Überlegungen bereits vom ersten Schritte angefangen die wirtschaftlichen Gesichtspunkte wenigstens annähernd zu berücksichtigen, worauf es ja bei der Anwendung von Kondensatoren am meisten ankommt.

21. In der Praxis scheinen Kondensatoren, die mit Transformatoren wirken, die Motoren der General Electric Company zu haben.<sup>1)</sup> Diese Anordnung heißt dort „condenser-compensator“. Auch sei noch erwähnt — wenn es auch weniger in den Bereich dieser Aufgabe gehört — daß Tesla verschiedene Anordnungen zur Erzeugung von Strömen hoher Frequenz erdacht hat, wobei er gleichfalls Kondensatoren durch Transformatoren wirken läßt.<sup>2-3)</sup>

---

<sup>1)</sup> Anonym, Electr. World. 1901. Bd. XXXVIII, S. 828.

<sup>2)</sup> Tesla, On light and other high frequency phenomena. Electrician. 1894. Bd. XXXI, S. 152.

Auch: Lumière él. 1893. Bd. LIII, S. 127.

<sup>3)</sup> Martin, Teslas Untersuchungen über Mehrphasenströme und Wechselströme hoher Spannung. (Knapp, Halle 1895.)



## Drittes Kapitel.

### Kondensatoren im Nebenschluss.

---

22. Man kann hier wiederum, wie in Kap. II, aus dem Resonanzkreise des § 8 ausgehen. Diesmal soll aber der Resonanzkreis an keiner Stelle geöffnet werden, sondern man schaltet die dort erwähnte kompensierende Stromquelle von der Periode  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  parallel an die Kondensatorklemmen. Dadurch ist nun eine Möglichkeit geboten, daß die Teilströme — der den Kondensator durchfließende und der durch die Induktionsspule gehende — einen viel höheren Wert wie ihre Summe, also der totale Strom, den die Maschine abgibt, haben.

Auch von dieser Eigenschaft der Kondensatoren läßt sich vielfach Gebrauch machen. Sie ermöglicht nämlich die Erzeugung desjenigen Magnetisierungsstromes, der von solchen Apparaten verbraucht wird, die ihr Magnetfeld nicht von selbst erzeugen, wie z. B. Drosselspulen, Transformatoren und Asynchronmotoren. So ist also ein Mittel geboten, eines der wichtigsten Probleme der Wechselstromtechnik zu lösen, nämlich die Unterdrückung der sogenannten „wattlosen“ Ströme und ihrer schädlichen Folgen.

Die Schäden dieser wattlosen Ströme sind bekanntlich zweierlei Natur, und zwar erstens einmal die Ladung der Kapazitäten, zweitens aber die Erzeugung von magnetischen Streufeldern. Dabei wirkt der erstere Umstand, von even-

tuellen Kabeldurchschlägen abgesehen, bei weitem nicht so nachteilig, wie das Streufeld, das nicht nur die theoretischen Probleme kompliziert, sondern auch auf die Dimensionierung der Maschinen — einmal infolge der durch  $\cos \varphi$  nötigen Vergrößerungen, dann aber durch Berücksichtigung des, gerade infolge dieser Vergrößerung eintretenden Spannungsabfalles — von Einfluß ist. Lauter Umstände, die zur Genüge zeigen, wie gut angebracht die Arbeiten sind, die die Realisierung eines leistungsfähigen Kondensators bezwecken.<sup>1-2)</sup>

23. Als auf ein Behelf bei der Kraftübertragung wurde auf diese Verwendung zuerst gegen 1891 hingewiesen (§ 24). Doch hatte Blakesley<sup>3)</sup> bereits vor 1889 den Fall des Kondensators im Nebenschluß untersucht und gezeigt, daß man durch diesen nicht nur die Wirkung der Selbstinduktion ändern kann, sondern es bei entsprechender Wahl der in Frage kommenden Größen auch noch möglich ist, durch solch einen Widerstand, der nicht direkt an die Generatorklemmen geschaltet ist, einen

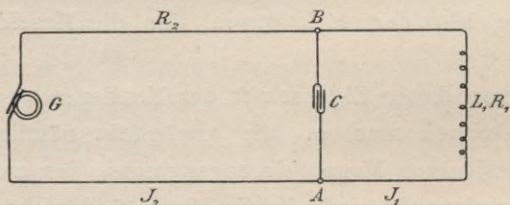


Fig. 9.

Strom vom selben Betrage durchzuschicken, wie er ihn dann durchfließen würde, wenn der Widerstand — diesmal ohne Kapazität und Selbstinduktion zu haben — direkt an die

<sup>1)</sup> Feldmann, Über wattlose Ströme. Elektr. Anzeiger 1902, S. 809. T.E.Z. 1902.

<sup>2)</sup> Blondel, Sur le courant déwatté. Eclairage él. 1896.

<sup>3)</sup> Blakesley, Alternating currents. (London 1889.) S. 32. Deutsch von Feldmann bei J. Springer. (Berlin.)

Maschine angebracht wäre. Diese Untersuchungen dürften — nebenbei bemerkt — schon durch den Umstand an Interesse gewinnen, daß Blakesley bereits die allgemeine Lösung der Stromverteilung für den Fall von mehreren Selbstinduktionen und Kapazitäten anstrebt, und daß er dabei als erster die graphische Methode für Wechselstromprobleme wählt.<sup>1)</sup> Beziehen sich  $J_2 R_2$  auf den Kreis  $\overline{AGB}$ ,  $J_1, R_1, L_1$  auf den äußeren, und ist der Widerstand im Zweige  $AB$  vernachlässigt, so kann, wie Blakesley zeigt

$$J_1 \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} J_2$$

werden.

Es ist nämlich

$$1. \quad \left(\frac{J_2}{J_1}\right)^2 = \left\{ 1 + \omega^2 C R_1^2 \left[ 1 + \left(\frac{\omega L_1}{R_1}\right)^2 \right] - 2 L_1 \omega^2 C \right\},$$

ist nun kein Kondensator eingeschaltet, also  $C=0$ , so wird

$$2. \quad \frac{J_2}{J_1} = 1.$$

Ist keine Selbstinduktion da, so wird für  $L_1=0$

$$3. \quad \frac{J_2}{J_1} > 1.$$

Schreibt man nun 1. wie folgt

$$4. \quad \left(\frac{J_2}{J_1}\right)^2 = 1 + C \omega^2 \left\{ C R_1^2 \left[ 1 + \left(\frac{L_1 \omega}{R_1}\right)^2 \right] - 2 L_1 \right\}$$

so bestimmen die Werte des zweiten und dritten Gliedes rechts, ob

$$J_2 \leq J_1.$$

Weiter kann man noch aus 4. ersehen, daß die Ströme für zwei Werte von  $C$  gleich sein müssen und zwar für

<sup>1)</sup> Guye, Calcul graphique des courants alternatifs industriels. Eclairage él. 1898. Bd. XIV, S. 321.

$$C = 0$$

$$C = \frac{2 L_1}{R_1^2 \left[ 1 + \left( \frac{L_1 \omega}{R_1} \right)^2 \right]}$$

$\frac{J_2}{J_1}$  wird ein Minimum, das Transformationsverhältnis also ein Maximum für

$$C = \frac{2 L_1}{R_1^2 \left[ 1 + \left( \frac{L_1 \omega}{R_1} \right)^2 \right]}$$

folglich

$$\left[ \left( \frac{J_2}{J_1} \right)^2 \right]_{\min} = \frac{1}{1 + \left( \frac{L_1 \omega}{R_1} \right)^2}$$

Graphisch sind diese Fälle ausführlicher von Perreau<sup>1)</sup> behandelt worden.

Diese Überlegungen zeigen nun, daß man mittelst Kondensatoren auch Anordnungen treffen kann, die quasi einem Transformator äquivalent sind. Daß aber solche Kombinationen niemals ganz mit einem Transformator identisch sein können, braucht kaum diskutiert zu werden.

Der Transformator ist eben ein Apparat, welcher die elektrische Energie in der Weise umformt, daß sich Strom und Spannung im reziproken Verhältnisse ändern. Der parallel geschaltete Kondensator bewirkt dagegen nur, daß man statt eines schwachen Stromes mit kleiner Phasenverschiebung einen stärkeren Strom mit großer Phasenverschiebung erhält oder umgekehrt.

Der Kondensator wird also in diesem Falle bloß als Umformer für Strom und Phase wirken.

<sup>1)</sup> Perreau, Eclairage él. 1901. Bd. XXVII, S. 185.

24. Wahrscheinlich als eine Folge der Blakesley'schen Untersuchungen wurden bald darnach verschiedene Vorschläge laut, um die Nebenschaltung von Kondensatoren auch praktisch zu verwerten. Daran, sie ganz an Stelle der Transformatoren zu setzen, dachte wohl niemand. Von vielen Seiten wurde es aber versucht, die nötigen wattlosen Ströme mit ihnen zu gewinnen.

Svinburne<sup>1)</sup> scheint dabei der erste gewesen zu sein, der mit positiven Vorschlägen vortrat. Er zeigte auf den minimalen Energieverlust (S. 71), den die Anwendung von Kondensatoren involviert, und empfahl sie den Transformatoren und Wechselstrommotoren allgemein anzugliedern. Seine Ideen sucht er an einem einfachen Beispiel klar zu machen. Eine Leitung von 100 Volt Spannung soll Bogenlampen mit einer

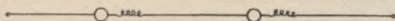


Fig. 10.

Verbrauchsspannung von nur 30 Volt speisen. Um die Spannung an den Lampen auf diese 30 Volt zu erniedrigen, seien Drosselspulen angebracht.

Ist nun der Verbrauchstrom der Lampe 10 Ampère, so wird für eine scheinbare Leistung des Alternators von 1000 Watt die effektive Leistung nur 300 Watt sein. Also müssen die Dynamos in den Zentralen große wattlose Ströme liefern, die dann nicht nur zur Erwärmung der Armatur beitragen, sondern auch einen Mehraufwand an Erregerstrom erfordernd, den Gesamtwirkungsgrad der Anlage verkleinern.

<sup>1)</sup> Svinburne, *Electrical apparatus*. E. P. 19308 (1892).

Auch: *Engineering*. 1892. Bd. LIII, S. 29.

Dann: *On the probable future of condensers in electric lighting*. *Electrician* 1892. Bd. XXVIII, S. 187.

*Industrie él.* Bd. I, S. 20.

*Lumière él.* 1892. Bd. XLIII, S. 373.

Dem könnte man nun dadurch abhelfen, daß man Kondensatoren im Nebenschluß an die Lampen anbringt, oder noch besser, einen großen zwischen die beiden Hauptleitungen einschaltet, da man so diesen Kondensator in der Zentrale unterbringen kann.

Auch könnte man mittelst Kondensatoren die Spannung derartig regeln, daß von derselben Leitung Bogen- und Glühlampen gespeist werden.

Von den Boucherotschen Systemen abgesehen (Kap. V), ist eine solche Anordnung von Selden<sup>1)</sup> patentiert worden.

25. Infolge der Vorschläge von Svinburne hat man sich mit der theoretischen und praktischen Untersuchung dieser Verwendungsart weiter befaßt.

So untersuchten Bedell, Miller und Wagner<sup>2)</sup> diesen Fall an einem sogenannten „hedgehog-transformer“, Ingeltransformator; dann Feldmann,<sup>3)</sup> Ryan,<sup>4)</sup> der Zahlenbeispiele bringt; Benischke<sup>5)</sup> (analytische Studie) und Perry,<sup>6)</sup> der die graphische Darstellung des Stromes und der Phasenverschiebung in einem Transformator gibt, dessen Nebenschluß ein Kondensator besitzt, und dessen Sekundärkreis offen ist.

<sup>1)</sup> Selden, Electric lighting system. U. S. P. 480375.

<sup>2)</sup> Bedell, Miller and Wagner, Hedgehog transformer and condenser. Electrician 1893. Bd. XXXII, S. 15.

Auch: Transformateur hérisson et condensateur. Lumière él. 1893. Bd. L, S. 589.

<sup>3)</sup> Feldmann, Selbstinduktion und Kapazität im Wechselstromkreise. ETZ 1892, S. 95.

<sup>4)</sup> Ryan, Alternate current working. Electr. World 1894. Bd. XXIV, S. 461.

<sup>5)</sup> Benischke, Die Wirkungsweise der Kondensatoren im Wechselstromkreise. ETZ 1895, S. 612.

Auch: Etude analytique des circuits présentant de la capacité parcourus par des courants alternatifs. Industrie él. 1895. Bd. IV, S. 452.

<sup>6)</sup> Perry, Condensers and idle currents of transformers. Electrician 1893. Bd. XXXI, S. 359.

26. Neben den theoretischen Untersuchungen dauerten auch die praktischen Versuche mit Kondensatoren fort. Hutin und Leblanc beachteten bei ihren Arbeiten (§ 15, 31) das Problem des Transformators im Nebenschluß gleichfalls. Am bemerkenswertesten sind aber die Versuche Boucherots, dessen Name mit der Anwendung der Kondensatoren ebenso eng verwachsen ist, wie derjenige von Hutin und Leblanc, und der, was Vielseitigkeit und Originalität der Anwendungsarten betrifft, letztere sogar überragt.

Die anfänglichen Ansichten Boucherots<sup>1)</sup> sind wohl zu optimistisch.

Er nahm nämlich an, daß man durch Nebenschaltung von Kondensatoren zum selben Resultat für den Leerlaufstrom eines Transformators gelangen würde, wie durch eine automatische Ausschaltung des Primärkreises; das ist, daß dann der Leerlaufstrom auf 0 sinken würde. Dies ist aber unmöglich, da die Joule und Hysteresisverluste trotz Kondensator weiter bestehen werden und nur durch gänzliche Ausschaltung zu umgehen sind.

Bemerkenswerter für die Anwendung an Transformatoren sind aber seine späteren Resultate.<sup>2)</sup>

Er erinnert daran, daß Transformatoren, die ohne Unterstationen direkt am Hauptstrang einer Zentrale angebracht sind, gewöhnlich die zwei- bis dreifache Leistung der Zentrale repräsentieren. Da nun ein jeder Transformator bei Leerlauf

<sup>1)</sup> Boucherot, Accroissement de l'utilisation des alternateurs par l'emploi des condensateurs. Industrie él. 1892. Bd. I, S. 27.

Auch: Condensers in alternate current working. Electr. Rew. 1892. Bd. XXX, S. 282.

Industrie él. 1892. Bd. I, S. 50, 74.

<sup>2)</sup> Boucherot, Condensateurs industriels. Bulletin de la société. 1898. Bd. XV, S. 79.

Auch: Sur l'emploi des condensateurs. Eclairage él. 1900. Bd. XXIV, S. 207.

für seine Magnetisierung (das war in 1892) einen Strom verbraucht, der ca. 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> seines Belastungsstromes ist, wird die Zentrale täglich um 30—40<sup>0</sup>/<sub>0</sub> desjenigen Stromes, der für Beleuchtung verbraucht wird, mehr abgeben müssen.

Diesen 30—40<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Strom wird aber nur 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> verbrauchte Energie entsprechen, woher dann die Verpflichtung herrührt, große Maschinen während des ganzen Tages nutzlos laufen lassen zu müssen.

Daran könnte man also mit Kondensatoren gut abhelfen, und Hutin et Leblanc haben dies Verfahren auch in Deutschland patentiert.<sup>1)</sup>

Ganz & Co. sollen bei der Kraftübertragung Tivoli-Rom auch Kondensatoren den Transformatoren versuchsweise angegliedert haben, ohne jedoch wegen der Unhaltbarkeit der Kondensatoren Erfolge zu erzielen.

27. Auch bei Kraftanlagen, wo der Leerlaufstrom nicht so stark mehr ins Gewicht fällt, — da man mit einem

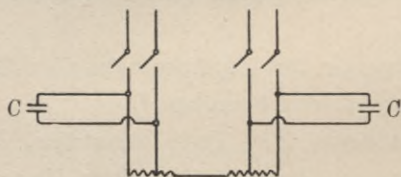


Fig. 11.

$\cos \varphi = 0,8$  zu arbeiten gewöhnt ist — wäre es interessant, den Magnetisierungsstrom der Asynchronmotoren zu annullieren.

So haben Stanley und Kelly außer den bereits erwähnten (§ 14) Anwendungen Kondensatoren bei Zweiphasen-

<sup>1)</sup> Hutin et Leblanc, D. R. P. 68051.

Auch: ETZ 1893, S. 424.

Ztschr. d. V. deutscher Ing. 1893. Bd. XXXVII, S. 662.



motoren angebracht,<sup>1)</sup> um die Magnetisierungsströme zu tilgen.

Die Schaltung ist ganz einfach.

Das so erzielte Resultat zeigen die Kurven die für  $c=130$  und eine EMK von 500 Volt aufgenommen worden sind.<sup>2-3)</sup>

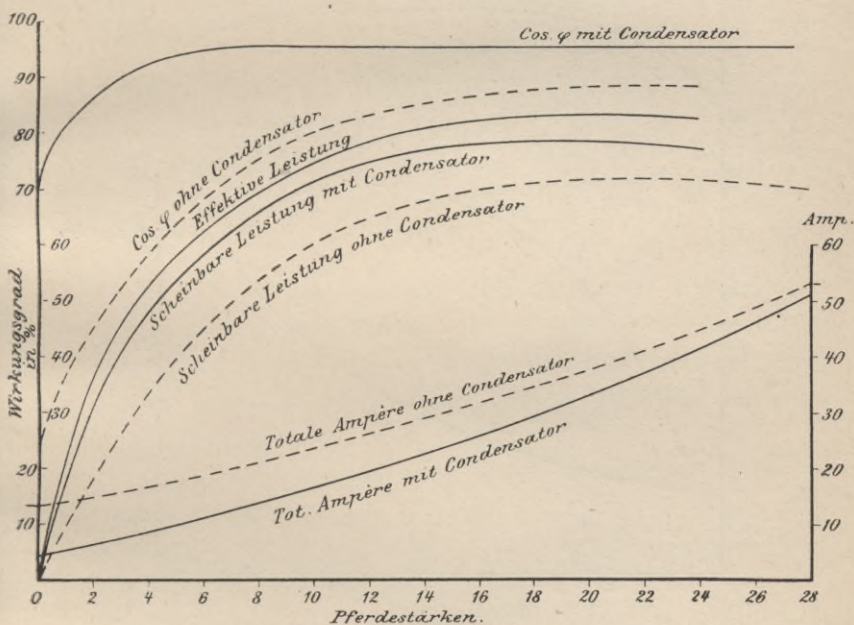


Fig. 12.

Auch die General Electric Company macht diese Eigenschaft der Kondensatoren sich zu nutze und zwar in Form eines „condenser compensator“. (§ 21.)

<sup>1)</sup> Stanley, Kelly und Chesenev, Method of working condensers. U. S. P. 505 680.

Auch: Electr. World. 1901. Bd. XXXVIII, S. 828.

<sup>2)</sup> Oudin, Standard polyphase apparatus. (New-York 1900.) S. 87.

<sup>3)</sup> Electr. World 1901. Bd. XXXVIII, S. 898.

Die Kurven zeigen das Verhalten einer solchen Maschine.<sup>1)</sup>

Eigentlich werden die Kondensatoren bei all diesen Maschinen zum Anlassen der Einphasenmotoren (worüber im Kap. IV verhandelt wird) gebraucht. Sind sie aber entsprechend dimen-

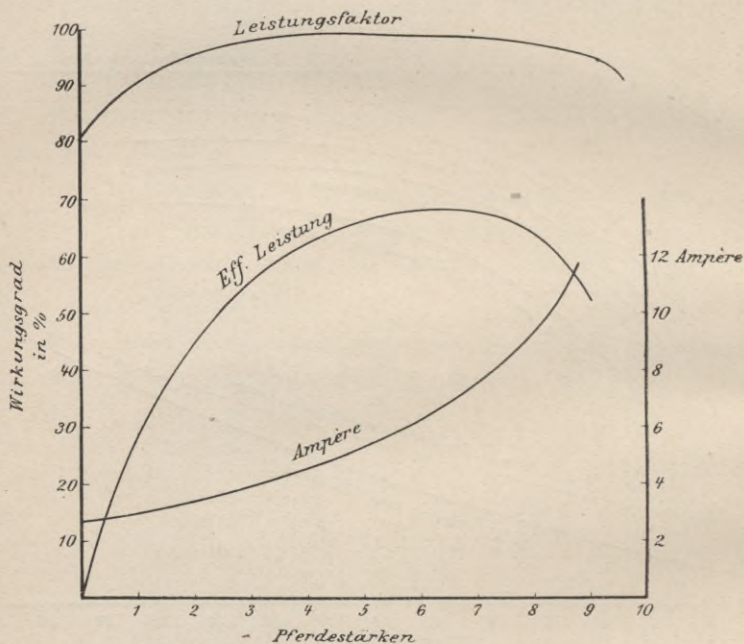


Fig. 13.

sioniert, so kann man sie zur Lieferung von Magnetisierungsströmen ebenfalls heranziehen.

28. Von Steinmetz soll noch folgende Anordnung herühren.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Electr. World 1901. Bd. XXXVIII, S. 898.

<sup>2)</sup> Meyer, Alternating currents systems. Engineering 1901. Bd. LXXI, S. 431.

Bei dieser Schaltung kann man einen Zweiphasenstrom zum Anlassen erhalten. Im Betriebe läßt sich der Kondensator als Magnetisierungsstromtilger benutzen. Pro Motorpferd soll bei Anlauf unter Volllast bei einem Strom von  $125\%$  des Volllaststromes ein Kondensator von 1 KW genügen. Die ganze Anordnung erinnert ziemlich an die Blathysche, die im Kap. IV besprochen wird. (§ 31.)

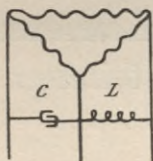


Fig. 14.

Eine weitaus interessantere Erfindung von Steinmetz, die teilweise denselben Zweck verfolgt, wird in § 46 erwähnt.

Auch Guilbert,<sup>1)</sup> der an Hutin und Leblancs Arbeiten anschließt, erläutert noch die Verwendung der Kondensatoren mit Asynchronmotoren.

Er zeigt, daß man mit Anbringung von Kondensatoren so das Drehmoment wie auch den  $\cos \varphi$  vergrößern kann, eine Frage, die durch die Arbeiten von Görges, Heyland und Latour gerade aktueller geworden ist.

Auf seine sehr komplizierte Theorie sich hier einzulassen, würde zu weit führen.

<sup>1)</sup> Guilbert, Du rôle des condensateurs dans les induits des moteurs asynchrones. Eclairage él. 1897. Bd. X, S. 103.

## Viertes Kapitel.

# Verwendung der Kondensatoren zur Stromteilung.

29. Mit Hilfe der Kondensatoren kann man auch einen Wechselstrom in zwei, um  $\frac{\pi}{2}$  in der Phase verschiedene Ströme teilen. Bringt man nämlich zwischen die beiden Klemmen eines Alternators zwei Stromkreise — wovon einer dabei induktive Belastung haben kann, der andere aber Kapazität enthalten muß — so fließen in den beiden Zweigen Ströme, die um  $90^\circ$  in der Phase verschoben sind.

Dadurch wird nun die Möglichkeit geboten aus dem gewöhnlichen Wechselstrom einen Mehrphasenstrom zu bilden, und diesen Umstand hat man auch in der Tat vielfach bei Wechselstrommotoren und vereinzelt bei Kraftübertragungen zu verwenden versucht. Es wird dementsprechend sogar behauptet, daß die Motorenfrage sich lediglich um einen leistungsfähigen Kondensator drehe.

Bei einem nicht zu teuren Kondensator — dazu mit kleinen Verlusten und einer hohen Spannung widerstehend — scheint es nämlich sehr wahrscheinlich zu sein, daß man in vielen Fällen schon wegen der komplexeren Netzen und Anlagen und der Schwierigkeit der Regulierung von der Drehstromverteilung auf Einphasenstrom übergehen würde.

Die Vorteile der Drehstromverteilung sind bekanntlich kleinere, mithin billigere Generatoren, kleiner Spannungsverlust, leichter Anlauf und weniger Leitungsmaterial. Bei Übertragungen auf kleine Distanzen aber spielt die Wirtschaftlichkeit zwischen beiden Systemen keine große Rolle mehr; den für Beleuchtungszwecke günstigeren Einphasenstrom benützt man wieder nur der Motoren wegen (Kosten, Anlauf, Drehmoment, Überlastungsfähigkeit) ungerne.

30. Da die Hauptschwierigkeit für die Einphasenmotoren im Anlassen besteht, kann man die Kondensatoren gut dazu verwenden, um eine zweite Phase, die sogenannte Kunstphase hervorzurufen, wodurch bereits die Möglichkeit geboten ist, ein Drehfeld für den Anlaß zu bilden. Das Feld der Einphasenmotoren ist bekanntlich pulsierend und das Drehmoment der Maschine hängt von seiner Rotationsgeschwindigkeit ab.<sup>1)</sup>

Die ersten Erbauer von Einphasenmotoren wollten noch ohne Kondensatoren auskommen.<sup>2)</sup>

Verschiedene geniale Kombinationen wurden versucht.

So z. B. von Tesla,<sup>3)</sup> Depoele,<sup>4)</sup> Kennedy,<sup>5)</sup> Dobrowolsky,<sup>6)</sup> Sahulka und der Maschinenfabrik Oerlikon. Bei den Maschinen der obengenannten findet man keine Kondensatoren.

Eine Erzeugung der Kunstphase mit Transformator und Drosselspule soll Ferraris (1888) vorgeschlagen haben,<sup>7)</sup>

---

<sup>1)</sup> Arnold, Asynchrone Motoren für gewöhnlichen Wechselstrom. ETZ 1893, S. 256.

<sup>2)</sup> Anonym, The alternate motor current controversy. Electrician. 1893. Bd. XXXI, S. 17.

<sup>3)</sup> Schema: Lumière él. 1890. Bd. XXXV, S. 136, 142.

<sup>4)</sup> Schema: Lumière él. 1891. Bd. XXXIX, S. 306.

<sup>5)</sup> Schema: Lumière él. 1891. Bd. XXXIX, S. 212.

<sup>6)</sup> Schema: Lumière él. 1892. Bd. XLII, S. 563.

<sup>7)</sup> Ferraris, Electr. World. 1895. Bd. XXX, S. 127.

Kondensatoren zum Anlaß haben aber als erste Bláthy, dann Tesla, Brown und Hutin et Leblanc benützt.

31. Hutin und Leblanc formulierten die Aufgabe allgemeiner.<sup>1)</sup> Sie wollten überhaupt eine Maschine erbauen, bei der das Drehmoment unabhängig von der Rotationsgeschwindigkeit werden kann.

Ihr Patentanspruch für Deutschland (1890) besagt, daß ihr Dynamo eine Mehrphasenwechselstrommaschine ist, deren Magnetfeld von zwei aus einem einzigen Wechselstrom erhaltenen Strömen so gebildet wird, daß diese beiden Stromkreise in gleichen Abständen miteinander abwechselnde Spulen bilden, deren Polarität in jedem einzelnen Stromkreis von einer Spule zur anderen wechselt, wobei dieses Magnetfeld dadurch zu einem drehenden wird, daß die beiden Ströme der Phase nach um annähernd  $\frac{1}{4}$  Welle voneinander verschieden sind, was wiederum dadurch erreicht wird, daß entweder in die einzelnen Stromkreise Kondensatoren von verschiedener Kapazität eingeschaltet werden, oder ein Kondensator zwischen die Verbindung der hintereinander geschalteten zwei Stromkreise um die Rückleitung eingeschaltet wird.

Die Theorie ihres Motors haben Hutin et Leblanc auch dem „Institut“ vorgelegt.<sup>2)</sup>

Ist  $L$  der Selbstinduktionskoeffizient für je eine Statorwicklung,  $A$  dasselbe für je eine Rotorwicklung,  $M$  der Maximalwert der gegenseitigen Induktion und  $R$  der Widerstand einer Rotorwicklung, so finden sie, daß

<sup>1)</sup> Hutin et Leblanc, D. R. P. 63446. E. P. 584. (1892.)  
Auch: Engineering. 1892. Bd. LIII, S. 29.

<sup>2)</sup> Hutin et Leblanc, Comptes rendus 1891, 27. Februar.  
Auch: Electricien. (2<sup>me</sup> série.) 1891. Bd. I, S. 332.  
Lumière él. 1892. Bd. XL, S. 260.  
Electr. World 1895. Bd. XXX, S. 218.

$$R = \omega L, \text{ und } C = \frac{1}{\omega^2 \left( 2L - \frac{M^2}{A} \right)}$$

sein muß, soll die Maschine als Generator, und

$$R = \omega \left( L - \frac{M^2}{A} \right), \text{ } C = \frac{1}{\omega^2 \left( 2L - \frac{M^2}{A} \right)},$$

soll sie als Motor laufen. Man könnte also in diesen Maschinen auch den Vorläufer der Asynchrongeneratoren sehen.

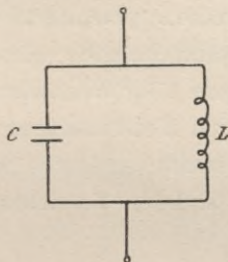


Fig. 15.

32. Bláthys<sup>1)</sup> Motor hat auch zwei Magnetwickelungen, die zur Erzeugung eines Drehfeldes wiederum Ströme verschiedener Phase bedürfen.

Dadurch nun, daß er gleichzeitig eine Spule und einen Kondensator benützt, die bezüglich der Phasendifferenz ja entgegengesetzt wirken, werden nicht nur kleinere Kapazitäten gebraucht, sondern die Anordnung läßt sich auch leichter regulieren, was mit Kondensatoren allein nicht der Fall wäre.

Später hat Bláthy mit Hoor die Versuche über Kondensatoren fortgesetzt. Sie wollten unter anderen Einphasen-

<sup>1)</sup> Bláthy, U. S. P. 482974. F. P. 217119.

Auch: Ztschr. f. Elektrotechnik 1892, S. 365.

motoren von Ganz & Co. mit Hilfe von Kondensatoren zum Betriebe von Aufzügen geeignet machen.

Bei diesen, mit einer Zweiphasenwicklung versehenen 6 PS Motoren lag eine Phase direkt an der Hauptleitung, die andere hatte den Kondensator.<sup>1)</sup>

33. Bekannter ist, daß Brown<sup>2)</sup> Kondensatoren anwendet, und zwar gewöhnlich elektrolytische. Nach dem Anlauf wird die Hilfsphase einfach mittelst Umschalter außer Betrieb gesetzt.<sup>3-5)</sup>

Ähnlich wie bei Brown soll Kolben bei größeren Motoren Micakondensatoren versucht haben.<sup>6)</sup>

Auch Elihu Thomson patentierte 1892 einen einfachen Einphasenmotor — wahrscheinlich ein Erfolg seiner theoretischen Untersuchungen über Wechselströme<sup>7)</sup> — in dem die drehende Wirkung durch Kondensatoren, die im Nebenschluß geschaltet waren, zu stande gebracht wurde.<sup>8)</sup> Vorher hatte er bereits (1889) mit anderen Vorrichtungen dasselbe zu erreichen versucht.<sup>9)</sup>

1) Dubsky, Recent developments in alternating current machinery with special reference to the Ganz system. Electrician. 1897. Bd. XXXVIII, S. 619.

Auch: Procédé de démarrage d'un moteur asynchrone monophasé. Eclairage él. 1898. Bd. XII, S. 268.

2) Brown, E. T. Z. 1893, S. 81.

Industries. Bd. XIV, S. 89.

3) Silvanus Thompson, Mehrphasige elektrische Ströme und Wechselstrommotoren. (Halle 1896.) S. 153.

4) Sahulka, Théorie der Thompsonschen (Brownschen) Motoren für gewöhnlichen Wechselstrom. E. T. Z. 1893, S. 391.

5) Brown, E. P. 23902, 24098, 24099. (1892.)

6) Eborall, Some notes on single phase motors. Electr. Rew. 1897. Bd. XLII, S. 500.

7) Elihu Thomson, U. S. P. 471155.

8) Elihu Thomson, Novel phenomena on alternating currents. Electr. World 1887, 28. Mai.

9) Silvanus Thompson, Mehrphasige elektr. Ströme und Wechselstrommotoren. (Halle 1896.) S. 167.



Die „Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft“ hat (1890) auch einen Kondensatoranlasser patentieren lassen,<sup>1)</sup> der aber, wie es scheint, nicht entsprach. Auch bei den früher besprochenen Maschinen von Stanley-Kelly, Steinmetz und der General Electric Co. werden die Kondensatoren gleichzeitig zum Anlassen verwendet.

34. Von Drysdale<sup>2)</sup> ist folgende Anordnung vorgeschlagen worden, um Einphasenmotoren bequem an Lichtnetze anzubringen.

Betrachtet man das Schaltungsschema, so sieht man, daß es ziemlich einfach ist. Nur wäre es unter Umständen ange-

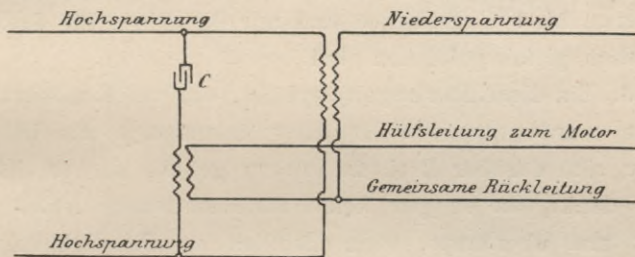


Fig. 16.

zeigt (§ 16), den Kondensator nicht hinter den Hochspannungstransformator, sondern im Sekundärnetz einzuschalten, da man dadurch seine Kosten herabsetzen könnte. Auch ließe sich das Resultat von Drysdale mit einem Zweiphasentransformator mit Kondensator in einem der Primärkreise erreichen. So wie sie vorliegt, ist die Schaltung dem „Monocyclic System“ von Steinmetz äquivalent, ohne jedoch eine dritte Hochspannungsleitung zu brauchen.

35. Eine weitere Anwendung von Kondensatoren wäre die

<sup>1)</sup> Elihu Thomson, D. R. P. 53892.

<sup>2)</sup> D. R. P. 59188.

für die Kraftübertragung. Folgende Werte,<sup>1)</sup> die sich auf den Wirkungsgrad der Einphasen- und der Drehstrommotoren beziehen, zeigen nämlich, wie es angebracht wäre, Einphasenstrom ohne nennenswerte Verluste in Drehstrom transformieren zu können.

	PS-Belastung:	Wirkungsgrad in ‰			
		1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
Einphasenmotor	12 . . . . .	75	78	68	54
Dreiphasenmotor	10 . . . . .	83,5	83	80	68
Einphasenmotor	25 . . . . .	80	83	80	68
Dreiphasenmotor	25 . . . . .	87	86	82	72

Allerdings ist diese Zusammenstellung zwar nicht ganz aktuell, da neuestens die Unterschiede in den Wirkungsgraden annähernd bis 1 ‰ gesunken und nur diejenigen für das  $\cos \varphi$  wesentlich gleich geblieben sind.

36. Ein Kraftübertragungssystem, das auf Kondensatoren basiert, wurde nun von Bradley ersonnen.<sup>2)</sup> Es ist aber schwer, sich darüber Rechenschaft zu geben, wie er sich die Sache denkt, da er gar keine mathematischen Ableitungen bringt und überhaupt, wahrscheinlich aus Patentrücksichten, unklar bleibt.

Bradleys<sup>3)</sup> Kombination geht darauf hinaus, aus einem Einphasenstrom durch Einschaltung von entsprechend gewählter Kapazität und Induktanz zwei, in der Phase um  $\frac{\pi}{2}$  verschiedene Felder und so einen Zweiphasenstrom zu erhalten.

Um einen Eisenkern wird eine Zuleitung des Generators direkt gewunden. Um einen zweiten führt er dagegen zwei parallel geschaltete Leitungen von gleicher Windungszahl, aber

<sup>1)</sup> Drysdale, Dielectric losses in condensers and cables and their bearing on electrical supply. Electrician. 1901. Bd. XLVI, S. 890.

<sup>2)</sup> Wilmschurst, Power supply by single phase motors. Electrician. 1900. Bd. XLV, S. 408.

<sup>3)</sup> Bradley, U. S. P. 546 756, 551 809. E. P. 18 033. (1895.)

in entgegengesetzter Richtung, in die er dann einen so gewählten Kondensator und Induktionssqule schaltet, daß in diesen zwei Leitungen Ströme gleicher Stärke fließen (Fig. 17).

Ein weiterer Versuch, aus diesem Zweiphasenstrom einen Dreiphasenstrom nach der Methode von Scott zu erhalten, wurde von Bradley<sup>1)</sup> im Verein mit seinen Assistenten Hulne und Chapmann ausgeführt.

37. Wie wenig praktischen Nutzen man aber aus einer solchen Transformation erwarten kann, zeigt allein schon der Umstand, daß man Bradleys Vorschläge kaum beachtet hat,

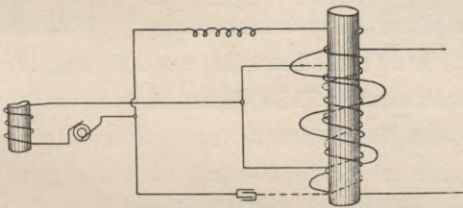


Fig. 17.

und daß auch das „American Institute of electrical engineers“, dem Bradley seine Erfindung (1895 September) vorlegte, stillschweigend, ohne jegliche Diskussion darüber hinwegging.

Auf den allerdings auch am meisten ins Auge springenden Punkt wurde jedoch später von Fessenden hingewiesen, nämlich, daß beträchtliche Energieverluste bereits durch den Umstand allein bedingt sind, daß die Energie eines Wechselstromes oszillierend, die eines Drehstromes aber konstant ist.

Fessenden<sup>2)</sup> kommt bei einem Beispiele zum Resultate, daß bei einem Kondensatorwirkungsgrade von 97<sup>0</sup>/<sub>0</sub> und unter An-

<sup>1)</sup> Bradley, Polyphase currents from simple alternating currents. Electr. World 1895. Bd. XXVI, S. 618.

Phasing transformers. Elect. Rew. 1895. Bd. XXXVII, S. 466.

<sup>2)</sup> Fessenden, The loss of energy in changing from a single alternating current to polyphase current. Electr. World 1895. Bd. XXVI, S. 618. D. R. P.

nahme von 0,022 für die Steinmetzsche Hysteresiskonstante des Transformators, allein 8,67% an Energieverlusten nur bei der Phasentransformation zu gewärtigen sind.

Er hat zwar hierbei den Wirkungsgrad des Kondensators (siehe § 64) viel zu ungünstig angenommen, am Endresultate ändert das aber nur wenig.

Eine neuere Anordnung Bradleys<sup>1)</sup> in Deutschland 1898 patentiert, ist noch komplizierter und sehr schwer verständlich. Laut Patentanspruch „bezweckt diese Erfindung eine Einrichtung zur Speisung von Drehstrommotoren aus Einphasenstromnetzen, welche derart getroffen ist, daß aus dem Einphasenstrom mittelst eines Phasentransformators Mehrphasenstrom gewonnen wird, der zum Betriebe eines Hilfsmotors dient, und daß der im induzierten Teile dieses Motors erzeugte Drehstrom zum Betriebe des Hauptstrommotors benutzt wird, dessen Anker mit Einphasenstrom gespeist wird, welcher dem Hauptstromkreise entnommen wird. Um die Geschwindigkeit des Hauptstromkreises zu jeder Zeit regulieren zu können, regelt man mittelst Wirbelstrombremse die Geschwindigkeit des Hilfsmotors, womit die Periodenzahl des in seinem induzierten Teile erzeugten Drehstromes geändert wird.“

Man sieht, daß diese Erklärung des Patentanspruches nicht ermöglicht, einen klaren Begriff über Bradleys Absichten zu erhalten.

38. Ebenfalls von Bradley sollen, wie Davies<sup>2)</sup> erwähnt, interessante Vorschläge gemacht worden sein,<sup>3)</sup> um Einphasenmotoren mit Hilfe von Kondensatoren zu regulieren, indem man Kondensatoren so zum Rotorkreis anbringt, daß sie für eine jede Geschwindigkeit resonant reguliert werden können.

<sup>1)</sup> Bradley, D. R. P. 106420.

<sup>2)</sup> Davies, Some applications of alternating currents. Electr. World 1898. Bd. XXXI, S. 25.

<sup>3)</sup> Bradley, U. S. P. 591267.

Die Periodenzahl einer Maschine mit einem Polpaare ist bekanntlich gleich den Umdrehungen pro Sekunde: Wird nun der Rotor für eine gewisse Periodenzahl resonant gestimmt, so soll seine Geschwindigkeit denjenigen Wert zu erhalten trachten, der gerade dieser Periodenzahl entspricht.

Außer dieser kurzen Notiz scheint leider nirgends etwas näheres über diesen Fall veröffentlicht zu sein. Von Interesse

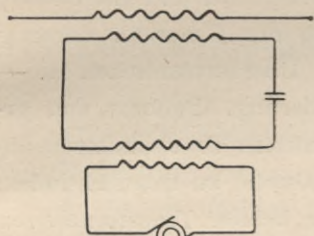


Fig. 18.

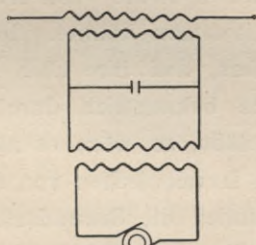


Fig. 19.

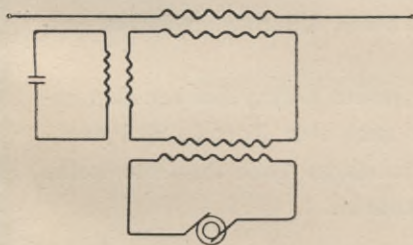


Fig. 20.

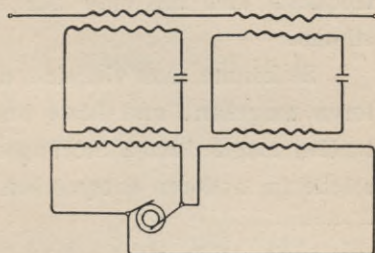


Fig. 21.

wäre, zu erfahren, wie Bradley sich die Regulierung der Kondensatoren denkt.

40. Schließlich sei noch Pupin<sup>1)</sup> erwähnt, der eine ganze Reihe von Kondensatorenverwendungen hat patentieren lassen, die meisten jedoch für die Telegraphie.

<sup>1)</sup> Pupin, U. S. P. 640516.

Auch: Electr. distribution and transmission with the use of condensers. Electr. World 1900. Bd. XXXV, S. 101.

Industriell kommen dabei nur die vorhergehenden in Betracht:

Zu diskutieren gibt es an diesen Schaltungen kaum etwas, da sie ja schon an den entsprechenden Stellen dieser Arbeit verschiedentlich besprochen worden sind. Ausgenommen Fig. 21, wo Pupin seinen Alternator mit zwei Transformatoren verbindet, und welche Disposition vielleicht dem neuen „Polyzyklischen Systeme“ von Arnold, Bragstad und La Cour<sup>1)</sup> zugute kommen könnte. Ist nämlich der Generator derartig konstruiert, daß ihre EMK reich an Überharmonischen ist — was sich bekanntlich durch Lamellierung, Polform etc. erreichen läßt, so wäre es möglich, mittelst Kondensatoren die höheren Harmonischen von der Grundwelle zu trennen, indem man nämlich die Sekundärkreise der beiden Transformatoren an dieselbe Hauptleitung legt, sie aber mittelst Kondensatoren für verschiedene Frequenzen, z. B. für die Fundamental-frequenz und für eine der stärkeren Überharmonischen abstimmt.

So könnte man vielleicht die großen polyzyklischen Generatoren umgehen, und hätte auch noch den Vorteil, daß eventuellen magnetischen Störungen in einem Teile de facto keine solche im anderen entsprechen müßten.

---

<sup>1)</sup> Arnold, Bragstad und La Cour, D. R. P. 128406. F. P. 306122.

## Fünftes Kapitel.

# Die Boucherotschen Verteilungsanordnungen.

41. Die interessanteste Anwendung der Kondensatoren ist von Boucherot ersonnen worden.<sup>1-2)</sup>

Es ist ihm nämlich gelungen, zu zeigen, daß, wenn man zwischen zwei Klemmen von konstanter Potentialdifferenz

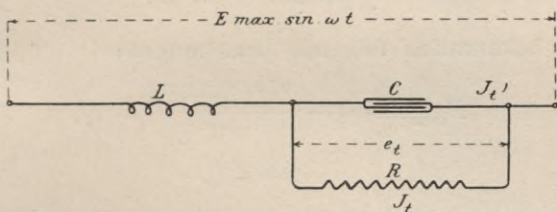


Fig. 22.

eine Drosselspule von der Selbstinduktion  $L$  und einen Kondensator von der Kapazität  $C$  derartig in Serie schaltet, daß

$$\omega^2 L C = 1$$

ist — also wieder die Resonanzbedingung — daß man dann in

<sup>1)</sup> Boucherot, Distribution par courants alternatifs à la fois à voltage constante et intensité constante. Electricien. (2<sup>me</sup> série.) 1891. Bd. I, S. 237.

Auch: <sup>2)</sup> Condensateurs industriels. Bulletin de la société 1898. Bd. XV, S. 79.

Eclairage él. 1898. Bd. XIV, S. 303.

Eclairage él. 1900. Bd. XXIV, S. 300.

einer am Kondensator angebrachten Abzweigung einen Strom von der Größe

$$J_{eff} = \frac{E_{eff}}{\omega L} = E_{eff} \omega C$$

erhalten kann, ein Resultat, in dem also der Ohmsche Widerstand nicht mehr vorkommt, und zu dem der Erfinder, wie er selber sagt, allein durch verhältnismäßig einfache theoretische Erwägungen gelangt ist.

42. Bezeichnen nämlich in obiger Schaltung  $L$ ,  $C$ ,  $R$ , wiederum Selbstinduktion, Kapazität und Widerstand,

$I_t$  den Momentanwert des Stromes im Widerstandszweig,  
 $I'_t$  " " " " am Kondensator und  
 $e_t$  " " " " der Potentialdifferenz an den Kondensatorplatten,

so gelten bekanntlich folgende Beziehungen:

$$1. \quad E_{max} \sin \omega t - \frac{L d(J_t + J'_t)}{dt} = e_t,$$

$$2. \quad e_t = R J_t,$$

$$3. \quad C de_t = J'_t dt.$$

Aus 1. und 2. erhält man nun

$$4. \quad E_{max} \sin \omega t - \frac{L d J_t}{dt} - \frac{L d J'_t}{dt} = R J_t.$$

Differenziert man jetzt 2. und setzt für  $\frac{de_t}{dt}$  seinen Wert aus 3. ein, so wird

$$5. \quad R C \frac{d J_t}{dt} = J'_t$$

dies differenziert

$$6. \quad \frac{d J'_t}{dt} = R C \frac{d^2 J_t}{dt^2},$$



welch letzteres dann in 4. eingesetzt, die zu integrierende Gleichung ergibt, nämlich

$$7. \quad E_{max} \sin \omega t - L \frac{dJ_t}{dt} - RCL \frac{d^2 J_t}{dt^2} - RJ_t = 0.$$

Die gesuchte Stromstärke kann nur die Form haben

$$8. \quad J_t = A e^{ht} + x \sin \omega t + y \cos \omega t, \text{ wo } e = 2,71828 \dots$$

also sind

$$9. \quad \frac{dJ_t}{dt} A h e^{ht} + \omega x \cos \omega t - \omega y \sin \omega t,$$

$$10. \quad \frac{d^2 J_t}{dt^2} = A h^2 e^{ht} - \omega^2 x \sin \omega t - \omega^2 y \cos \omega t.$$

Setzt man diese Werte in Gleichung 7, so ergibt sich

$$(AR + AhL + Ah^2 RCL) e^{ht} + (Rx - \omega Ly - \omega^2 LCRx) \sin \omega t + (Ry + \omega Lx - \omega^2 LCRy) \cos \omega t = E_{max} \sin \omega t.$$

Man darf also setzen

$$11. \quad A(R + hL + h^2 RLC) e^{ht} = 0,$$

$$12. \quad Rx - \omega Ly - \omega^2 LCRx = E_{max},$$

$$13. \quad Ry - \omega Lx - \omega^2 LCRy = 0,$$

wodurch man zu den Werten von  $A$ ,  $h$ ,  $x$ ,  $y$  gelangt.

Da aber  $h$  weder positiv noch 0 werden kann, darf man in 11 — sobald die Leistung festgesetzt ist —  $A e^{ht}$  vernachlässigen.

Die Stromstärke wird also

$$J_t = E_{max} \frac{R(1 - \omega^2 LC) \sin \omega t - \omega L \cos \omega t}{R^2(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 L^2},$$

woraus, wenn

$$\omega^2 LC = 1, \quad J_t = - \frac{E_{max} \cos \omega t}{\omega L} = - E_{max} \omega C \cos \omega t$$

Man sieht, daß die Intensität unabhängig vom Widerstand und immer in Quadratur mit der EMK ist.

Auf die Effektivwerte übergehend erhält man

$$J_{eff} = -\frac{E_{eff}}{\omega L} = -E_{eff} \omega C. \quad \text{q. e. d.}$$

43. Boucherot behandelt diese Schaltungen auch in den verschiedensten Kombinationen. So zeigt er z. B., daß, wenn man die induktionsfreie Belastung nicht am Kondensator, sondern an der Drosselspule anbringt, das Resultat sich nur um das Vorzeichen ändert.

Das ist auch leicht zu beweisen, denn wenn man obige Schaltung einführt, so genügt es zu berücksichtigen, daß man

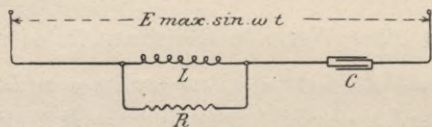


Fig. 23.

den Einfluß der Selbstinduktion in irgend einer Anordnung kennend, den der an ihrer Stelle angebrachten Kapazität dadurch bestimmen kann, daß man für das frühere  $\omega L$  jetzt überall  $-\frac{1}{\omega C}$  setzt. Man erhält also

$$J_{eff} = E_{eff} \omega C,$$

d. h. diesmal ist der Strom um  $90^\circ$  voreilend.

Ausführlich wird auch der Fall behandelt, wenn der Widerstand induktiv ist.

Die Differentialgleichung heißt dann

$$E_{max} \sin \omega t - R J_t - (L + l) \frac{dJ_t}{dt} - R C L \frac{d^2 J}{dt^2} - L l C \frac{d^3 J_t}{dt^3} = 0.$$

Er zeigt aber, daß man auch jetzt zum Resultate

$$J_{eff} = -E_{eff} \omega C$$

kommt.

Auch umgekehrt, wenn in einer Linie der Strom konstant gehalten wird, so ist es möglich, trotz variierender Belastung eine konstante Spannung zu erhalten, wenn man nur wiederum  $\omega^2 LC = 1$  setzt (Fig. 24, 25).

44. Betrachtet man nun diese Boucherotschen Schaltungen mit kritischen Augen, und will man ihre Vorteile und Nach-

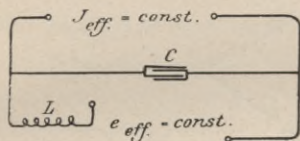


Fig. 24.

oder

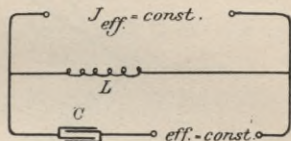


Fig. 25.

teile abwägen, so wird der erste Gedanke eines jeden wohl der sein, daß die Erfüllung der grundlegenden Bedingung

$$\omega^2 LC = 1$$

in der Praxis nicht so leicht sein muß.

Dieser eine Nachteil kommt aber teilweise in Wegfall.

Da

$$J_{eff} = \frac{E_{eff}}{\sqrt{R^2(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 L^2}},$$

wird zwar hier für  $R = 0$  und  $R = L$  — also für die Spannung 0 und  $E_{eff}$  am Kondensator — einem Fehler von  $n^0/0$  beim Produkt  $\omega^2 LC$  auch einen Fehler von  $n^0/0$  in der Stromstärke entsprechen; bleibt aber einmal der Wert des Widerstandes  $R$  stark unter dem Wert von  $\omega L$ , so kann der Fehler von  $\omega^2 LC$  laut Boucherot 100, sogar 200<sup>0</sup>/<sub>0</sub> betragen, ohne daß dabei die Stromintensität um mehr als 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> variieren würde.

So hat er mit einer  $C$  von 0,8 Mikrofaraad und  $L = 15$  Henry, bei 2400 Volt im Netz und  $\omega = 500$  ( $c \approx 80$ ) für Werte zwischen 100 und 1000 Volt am Kondensator die Strom-

schwankungen unter  $20\%$  gefunden. Hier war der Fehler an  $\omega^2 LC = 1,35\%$ .

45. Ein weiterer Nachteil ist auch, daß bei diesen Anordnungen der gesamte Strom, also  $I = I_t + I'_t$ , für  $R = 0$

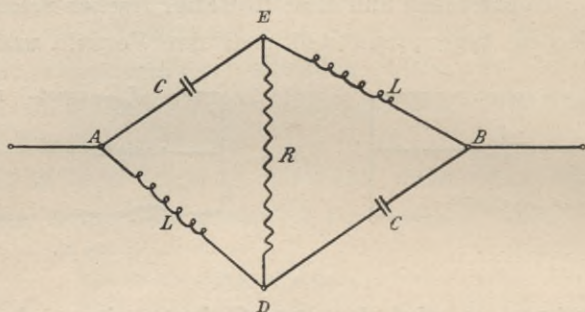


Fig. 26.

nicht verschwindet, vielmehr, wie es leicht zu beweisen ist, den Wert

$$J = \frac{E_{max}}{\omega L} (\omega R C \sin \omega t - \cos \omega t)$$

erhält.

Um nun auch diesem Fehler abzuhelpfen, hat er neuerdings eine weitere und vorteilhaftere Kombination zur Lösung derselben Probleme vorgeschlagen.

Je zwei Drosselpulen mit gleichem Selbstinduktionskoeffizienten  $L$  und zwei Kondensatoren von gleicher Kapazität  $C$  — wobei wiederum  $\omega^2 LC = 1$  — werden derartig gruppiert, daß sie ein Vierseit  $AEBD$  bilden, indem die gleichen Apparate sich in den entgegengesetzten Seiten befinden.<sup>1)</sup>

Werden nun die Punkte  $A, B$  mit einer Wechselstromquelle von konstanter Spannung verbunden, so erhält man im

<sup>1)</sup> Boucherot, Bulletin de la société. 1898. Bd. XV, S. 87.  
Eclairage él. 1898. Bd. XIV, S. 268.

Zweig  $ED$  einen Strom, dessen Stärke auch konstant ist, wie groß auch immer Widerstand und Reaktanz, besser gesagt: wie groß auch die Impedanz dieses Zweiges sein mag.

Mit Hilfe der sogenannten „Widerstandsoperatoren“ läßt sich das leicht beweisen,<sup>1)</sup> denn wenn  $I$  die gesuchte Stromstärke,  $J_1$  diejenige im Zweige  $EB$ ,  $J_2$  die in  $AE$  und  $E$  die Spannung zwischen  $AE$  ist, so wird bei  $\omega^2 LC = 1$ , wenn  $A$  die imaginäre Reaktanz von  $EB$ , diejenige für  $AE - A$  sein, und folglich hat man

$$E = A I_1 - A I_2 = A I_1 - A (I_1 - I) = A I,$$

woraus  $I = \frac{E}{A}$  hervorgeht.

Also ist  $I$  unabhängig vom Widerstande, der sich im Zweige  $E$  und  $D$  befindet, da im obigen Ausdruck der Ohmsche Widerstand nicht vorkommt. Da nun der Strom, den der W.S.-Generator liefern muß, immer der im Zweige  $ED$  aufgewendeten Leistung proportional sein wird, so hat man gegenüber den früheren Anordnungen den Vorteil, daß für  $R = 0$  der Leerlaufstrom auch 0 sein wird.

Ich möchte noch erwähnen, daß die Wahl zweier kleinerer Kondensatoren für dieselbe Leistung anstatt eines großen auch konstruktiv vorzuziehen ist. (§ 55.)

46. Man sieht, daß der Hauptverdienst der Boucherotschen Anordnungen darin liegt, daß sie eine Art automatischer Regelung erreichen lassen, indem sie die Stromstärke eines Zweiges — ein beim Gleichstrom undenkbarer Modus — unabhängig von seiner nicht induktiven Belastung machen.

In der Praxis dürften diese Kombinationen, durch welche man also von konstanter Spannung auf konstanten Strom und umgekehrt übergehen kann, am meisten noch für Beleuchtungsanlagen geeignet sein. Namentlich in den Fällen, wo

<sup>1)</sup> Janet, *Lessons d'électrotechnique générale*. (Paris 1900.) S. 337.

man zu einer Serieschaltung der Stromempfänger zu greifen gezwungen ist, z. B. bei Anlagen, wo derselbe Generator in Serie geschaltete Bogenlampen und parallele Glühlampen speisen muß.

Speziell auf diesen Vorteil weisen auch alle diejenigen hin, die sich mit dieser Erfindung befaßt haben, so z. B. Janet,<sup>1)</sup> Loppé et Bouquet,<sup>2)</sup> Rechniewsky,<sup>3)</sup> Ryan<sup>4)</sup> etc.

Boucherot selbst hat in der Sitzung der Société internationale des électriciens (1898, 2. Februar) als Beispiel eine Disposition vorgezeigt, bei der er die Glühlampenzahl von 1—18 variieren ließ, ohne daß ein merkliches Flackern des Lichtes eingetreten wäre. Dabei wurde die Maschinen- spannung von 1000 Volt nach Möglichkeit konstant gehalten und die Spannung am Kondensator wechselte von 100 bis 1800 Volt.

In der Praxis wäre es vielleicht angebracht, jeden Apparat mit einem kleinen Transformator zu versehen (§ 18), damit das Bedienungspersonal in keine Berührung mit den Hochspannungsleitungen komme. Auch könnte man, damit das Versagen einer Lampe nicht die ganze Anlage gefährdet, Drossel- spulen im Nebenschluß zu den Lampen anbringen, denn brennen die Lampen, so verbrauchen diese Spulen nur wenig Strom, versagt aber eine, so wird der Strom seinen Weg durch die entsprechende Spule nehmen, und das Licht der Lampen ändert sich nur unmerklich.

<sup>1)</sup> Janet, *Lessons d'électrotechnique générale*. (Paris 1900.) S. 336.

<sup>2)</sup> Loppé et Bouquet, *Traité des courants alternatifs industriels*. (Paris 1896.) Bd. II, S. 412.

<sup>3)</sup> Rechniewsky, *Système de distribution des courants alternatifs avec emploi des condensateurs*. *Electricien*. (2<sup>me</sup> série.) 1893. Bd. III, S. 317.

<sup>4)</sup> Ryan, *Alternate current working*. *Electr. World*. 1894. Bd. 14, S. 462.

*Eclairage électrique*. 1898. Bd. XIV, S. 306.

47. Da von den Erfindungen von Boucherot die Rede ist, soll noch eine interessante Anwendung der Kondensatoren erwähnt werden, die gleichfalls von ihm ersonnen worden ist,<sup>1)</sup> um nämlich Wechselstromgeneratoren mit Wechselstrom zu erregen, also eine Art Selbsterregung der Wechselstrommaschinen, die er dementsprechend „*alternateurs auto-exciteurs*“ nennt.

Bekanntlich ist in jeder Induktionsmaschine die induzierte EMK gleich der ersten Ableitung des Kraftflusses nach der Zeit mit entgegengesetztem Vorzeichen genommen, und diese EMK ist immer in der Phase um  $90^\circ$  hinter dem Kraftflusse verschoben. Schaltet man nun einen entsprechenden Kondensator ein, so kann der Strom und mit ihm sein Kraftfeld, die bekanntlich immer in Phase miteinander sind, um  $90^\circ$  voreilend gemacht werden, wodurch dann der Strom selber denjenigen Kraftfluß erzeugen wird, der zur Induzierung der ursprünglichen EMK nötig ist.

Diese Kondensatoreigenschaft versuchte Boucherot bei zweierlei Alternatoren praktisch zu verwenden, und zwar waren beide Synchronmaschinen.

Bei der ersten Maschine gibt es keinen Induktor, nur, zwei Ankerwickelungen; die eine ist fix, die andere mobil. Da beide nicht nur wie sonst die gleiche Polzahl, sondern auch eine gleiche Phasenzahl und Wickelung haben, so werden infolge der Rotation eines Magnetfeldes, das sich in beiden mit der halben Geschwindigkeit des Rotors bewegt, in ihnen solche Ströme induziert, die von gleicher Spannung und auch gleicher Periodenzahl sind. Die zum Anlassen nötige Erregung soll nach Boucherot mit jedem Strom, ob Gleichstrom oder

---

<sup>1)</sup> Boucherot, *Alternateurs auto-exciteurs*. Bulletin de la société. 1898. Bd. XV, S. 90.

Auch: *Eclairage él.* 1898. Bd. XIV, S. 306.

*Eclairage él.* 1900. Bd. XXIV, S. 300.

Wechselstrom, geschehen können. Nur ist seine Bemerkung, daß es überhaupt genügend ist, eine kleine Energiemenge, in was immer für einer Form, der Maschine mitzuteilen, damit sie anläuft, nicht ganz klar.

Eine solche Zweiphasenmaschine soll bei 1200 Touren und 40 Perioden einen Strom von 1000 Volt und 9 Ampere gegeben haben.

Seine zweite Maschine hat, wie bei Zweiphasenmaschinen gewöhnlich der Fall ist, zwei feste Wickelungen und ein bewegliches Eisenstück, das Ganze aber derartig kombiniert, daß die Selbstinduktion des ersten Kreises immer nach der Form

$$\lambda(1 + \sin 2 \omega t),$$

die des zweiten nach

$$\lambda(1 + \cos 2 \omega t)$$

und ihre gegenseitige Induktion nach

$$- \lambda \cos 2 \omega t$$

variieren.

Durch Zusatz von Kondensatoren soll man dann von einer und derselben EMK ausgehend, die Ströme von der Form

$$J_{max} \sin \omega t \quad \text{und} \quad J_{max} \cos \omega t$$

erhalten.

Schließlich sei noch erwähnt, daß auch Leblanc auf Ähnliches wie Boucherots vorliegende Anordnungen hingewiesen hat;<sup>1)</sup> daß man nämlich mit Hilfe von Kondensatoren die Asynchronmotoren übererregen und als Asynchrongeneratoren laufen lassen kann.

<sup>1)</sup> Leblanc, Eclairage él. 1899. Bd. XVIII, S. 376.



## Sechstes Kapitel.

### Einiges über die Anwendung der Kondensatoren in der Praxis.

48. Nachdem der Versuch gemacht wurde, die verschiedenen Rollen, die den Kondensatoren in der Wechselstromtechnik zufallen, zu beleuchten, wird es nicht ohne Interesse sein, diejenigen Umstände zu untersuchen, die die Einführung dieser Apparate erschweren, komplizieren und begrenzen.

In aller, schon durch die gestellte Aufgabe auferlegter Kürze, sollen noch betrachtet werden: wie weit die praktisch erhaltenen Resultate von den theoretischen differieren, in welchem Maße die Form des Wechselstromes, die Periodenzahl und die Verluste die Verwendung beeinflussen können, wie weit ihr Preis ihre Einführung begrenzt, welche Anstrengungen gemacht worden sind, um da abzuhelfen und auch kommerziell in Betracht kommende Kondensatoren zu erbauen, was für Materialien und konstruktive Dispositionen hierzu verwendet worden sind, und ob in absehbarer Zukunft Aussichten vorhanden sind, technisch vollkommen brauchbare Apparate zu erhalten.

In der Praxis kommt der Umstand erstens in Betracht, daß man es nicht mehr mit sinusförmigen EMKen zu tun hat, wie das bisher immer angenommen wurde (§ 10).

Ist dies aber der Fall, so werden nicht nur die bisher verhältnismäßig einfachen Rechnungen kompliziert, sondern

man kann die Selbstinduktion mittelst Kapazität überhaupt nicht mehr gänzlich neutralisieren.

Den Beweis dafür, daß eine solche Kompensation überhaupt nur im Falle harmonischer EMKe möglich ist, haben Bedell und Crehore erbracht,<sup>1)</sup> indem sie von der allgemeinen Induktionsgleichung

$$1. \quad E = R J + \frac{L d J}{dt} + \frac{f J dt}{C}$$

ausgingen.

Versucht man nämlich eine Annahme dafür zu treffen, daß alles so ablaufe, wie wenn keine Selbstinduktion und Kapazität vorhanden wären, d. h. soll das Ohmsche Gesetz

$$2. \quad E = R J$$

verifiziert werden, so muß in 1. immer

$$3. \quad L \frac{d J}{dt} + \frac{f J dt}{C} = 0$$

oder differenziert

$$4. \quad \frac{d^2 J}{dt^2} = - \frac{J dt}{L C}$$

sein.

Multipliziert man aber 4. mit dem integrierenden Faktor, so wird

$$\frac{d^2 J}{dt^2} \cdot \frac{d J}{dt} = - \frac{J dt}{L C} \cdot \frac{d J}{dt}$$

oder

$$d \left( \frac{d J}{dt} \right)^2 = - 2 \frac{J d J}{L C},$$

woraus

$$\left( \frac{d J}{dt} \right)^2 = - \frac{J^2}{L C} + k,$$

$$\frac{d J}{dt} = \pm \sqrt{k - \frac{J^2}{L C}}$$

<sup>1)</sup> Guilbert, Selfinduction et capacité. Lumière él. 1893. Bd. XLVII, S. 262.

und integrierend

$$\frac{\arcsin J}{\sqrt{kLC}} = \frac{t}{\sqrt{LC}} + k_1 \quad \text{und} \quad \sqrt{kLC} = k'$$

gesetzt, erhält man schließlich

$$J = k' \sin \left( \frac{t}{\sqrt{LC}} + k_1 \right) \text{ q. e. d.}$$

oder der Strom muß einer Sinusfunktion der Zeit gleich sein.

50. Untersuchungen über den Einfluß der Kurvenform auf Kondensatoren sind noch ausgeführt worden von H. F. Weber,<sup>1)</sup> der Korrektionsfaktoren für die Kapazitäten aufstellte, und Russel,<sup>2)</sup> der die verschiedenen Kurvenfamilien untersuchte und der analytisch bewiesen hat, daß von allen Wellen mit demselben Maximalwerte der EMK allgemein eine symmetrische Welle, und unter den symmetrischen Wellen von gleicher Amplitude die Sinuswelle den kleinsten effektiven Strom am Kondensator bildet.

Auch Ryan<sup>3)</sup> bringt eine interessante graphische Darstellung des nicht verschwindenden Leerlaufstromes eines 1080 Volt 143 Perioden Alternators, wo eine Kapazität von 1,02 Mikrofara die Selbstinduktion eines Transformators mit dem Leerlaufstrom von 0,95 Ampere zu kompensieren hatte.

<sup>1)</sup> H. F. Weber, Influence de la forme des courants alternatifs sur les mesures des capacités et des coefficients d'induction. Eclairage él. 1898. Bd. XVI, S. 304.

Auch: Wied. Ann. 1898. Bd. LXIII, S. 366.

<sup>2)</sup> Russel, How condensers and choking-coil currents vary with the shape of the wave of the applied EMK. Journal of the institution 1900. Bd. XXIX, S. 154.

Auch: Eclairage él. 1900. Bd. XXIX, S. 604.

Note on resonance with alternating current. Electr. World. Bd. XXX, S. 596.

<sup>3)</sup> Ryan, Alternate current working. Electr. World. 1894. Bd. XXIV, S. 462.

60. Als eine Anordnung, die die Anwendung von Kondensatoren auch mit nicht sinusförmigen EMKen ermöglicht, soll ein Patent von Steinmetz<sup>1)</sup> genannt werden.

Er bringt nämlich an den Motoren außer Stator und Rotor, also Primär- und Sekundärwicklung auch noch eine Tertiärwicklung an, in der dann die Kondensatoren eingeschaltet sind. Letztere soll orthogonal zum Primärkreis, und zwar derartig disponiert sein, daß die gegenseitige Induktion zwischen den beiden = 0 wird. Durch die Bewegung des Rotors, der sich fast in Synchronismus mit dem Wechselstrom dreht, werden aber in der tertiären Wickelung dennoch Ströme induziert, wodurch nun folgendes erreicht werden soll:<sup>2)</sup>

1. Die EMK, die durch zweifache Transformation hervor- gebracht wurde, soll erstens wesentlich sinusförmig sein, die doppelte Transformation soll sie von event. Überharmonischen befreit haben. (?)
2. Regelt man die Kapazität der Kondensatoren derartig, daß ihre Admittanz gleich der Admittanz des Rotors wird, so wird der Magnetisierungsstrom des Rotors — der bei Synchronismus = 0 ist — allein nur von der Tertiärwicklung geliefert, wodurch dann der Statorstrom notgedrungen reduziert werden muß, und zwar auf den Wert, der zur Erzeugung des Hauptfeldes allein notwendig ist.
3. Wird die Kapazität verdoppelt, so hat der Tertiärkreis auch einen Strom in Quadratur, der also direkt das Feld erzeugen kann (wie bei Boucherot, § 47). Also liefert jetzt die Tertiärwicklung mit dem Konden-

<sup>1)</sup> Steinmetz, U. S. P. 620965, 620966.

<sup>2)</sup> Anonym, Industrie él. 1901. Bd. X, S. 12.

sator den ganzen Magnetisierungsstrom<sup>1)</sup> für die Maschine, wodurch dann der Wirkungsgrad des Motors, wie auch die Ausnützung des Generators und des Leitungsnetzes erhöht werden und  $\cos \varphi = 1$  wird.<sup>2)</sup>

4. Wird der Tertiärkreis mit dem Kondensator nicht orthogonal zum Stator disponiert, sondern unter  $60^\circ$ , so kann man durch gegenseitige Induktion ein Drehfeld erhalten, das sich, wie in Kap. IV erläutert wurde, zum Anlauf benützen läßt.

Dafür, daß diese Anordnungen auch praktisch entsprochen haben, konnte ich in der Literatur keinen Beleg finden; am meisten fraglich erscheint gerade die Hervorbringung von Sinusströmen auf diese Art. (1.)

61. Außer dem Einflusse der Kurvenform könnte auch noch der Umstand in Frage kommen, daß die Kapazität sowohl der festen, wie auch der flüssigen Dielektrica sich mit der Periodenzahl und der Temperatur ändern soll.

Letztere fand man ziemlich unbedeutend.<sup>3)</sup>

Dagegen zeigte Hanauer,<sup>4)</sup> daß mit wachsender Periodenzahl ein Energieverlust in den Dielektrica eintritt, der um

<sup>1)</sup> Es ist mit Absicht „Magnetisierungsstrom“ anstatt „Leerlaufstrom“ geschrieben. Der Kondensator kann nur ersteren abgeben, beim Leerlaufstrom kommen noch die Eisenverluste durch Hysteresis und Wirbelströme hinzu.

<sup>2)</sup> Ist bereits von Hutin, Leblanc und Guilbert vorgeschlagen worden. (§ 26, 27.)

<sup>3)</sup> Cassie, De l'influence de la temperature sur le pouvoir, inducteur specifique d'une diélectrique. *Lumière él.* 1892. Bd. XLII, S. 391.

Auch: *Phil. Trans.* 1892. Bd. V, S. 181.

<sup>4)</sup> Hanauer, Über die Abhängigkeit der Kapazität eines Kondensators von der Frequenz der benutzten Wechselströme. *Wied. Ann.* 1898. Bd. LXV, S. 789.

Auch: *ETZ* 1898, S. 759.

*Ztschr. f. Elektrotechnik* 1899, S. 96.

*Eclairage él.* 1899. Bd. XX, S. 27.

so bedeutender ist, je größer die Änderung der Kapazität mit der Schwingungszahl wird.

Eisler hat wieder gefunden,<sup>1)</sup> daß ein Kondensator bei verschiedenen Periodenzahlen an dieselbe Spannung angelegt, pro Periode eine Arbeit verbraucht, deren Größe von der Periodenzahl abhängt. Dieselbe nimmt mit zunehmender Periodenzahl zuerst zu, erreicht ein Maximum und nimmt wieder ab.

Alle diese Verluste lassen sich in der Praxis vernachlässigen, und man kann weiter an der Annahme festhalten, daß die Energiemengen, die ein Kondensator aufstapeln kann, also auch sein Preis unabhängig von der Frequenz des benutzten Wechselstromes ist. (§ 21.)

Alle diese Umstände können wir dazu um so mehr außer Betracht lassen, weil die prozentualen Verluste am Kondensator überhaupt sehr gering sind, denn wenn auch über die Art und Natur der Verluste in den Dielektrics, selten viel Widersprechendes veröffentlicht worden ist, so sind trotz der sehr auseinandergehenden Resultate alle Forscher darin einig, daß kein Apparat der Elektrotechnik mit so hohem Wirkungsgrade arbeitet, wie der Kondensator.

62. Ein Hauptgrund für diese Diskrepanz der Resultate ist wohl der, daß alle diesbezüglichen Messungen mit großen experimentellen Schwierigkeiten verbunden sind und nur neuerdings entsprechendere Anordnungen ersonnen wurden, so von Rosa and Smith,<sup>2)</sup> die Kondensator und Wattmeterspule resonantschaltend ihre Messungen ausführten, und von Kleiner,<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Eisler, Untersuchungen über den Arbeitsverlust im Dielektrikum. Ztschr. f. Elektrotechnik 1895, S. 345.

<sup>2)</sup> Rosa and Smith, Electr. World 1899. Bd. XXXIII, S. 154.

Auch: Phys. Rev. 1899, Januar.

Phil. Magaz. 1899, Januar.

<sup>3)</sup> Kleiner, Wied. Ann. 1894, Januar.

Auch: Electrician 1894. Bd. XXXII, S. 313.

Industrie él. 1895. Bd. III, S. 426.

der zur Messung der in den Kondensatoren durch intermittierende Elektrisierung entstehender Wärme Thermolemente benutzt, deren eine Lötstelle im Dielektrikum eingesenkt ist.

63. Im folgenden soll nur ganz kurz auf die einzelnen Versuche und auf die Literatur hingewiesen werden, die sich auf die Verluste in Kondensatoren beziehen.

Bekanntlich bietet ein Kondensator einem Gleichstrom einen theoretisch unendlich großen Widerstand.

In Wirklichkeit aber wird ein ganz kleiner Strom infolge der minimalen Leitungsfähigkeit des Dielektrikums den Kondensator dennoch durchfließen. Der Kondensator erleidet nun infolge Jouleverlust eine sehr kleine und nur schwer konstatierbare Erwärmung.

Nun hat man gefunden, daß wenn man denselben Kondensator einem Wechselstrom vom selben Effektivwerte wie früher der Gleichstrom aussetzt, diese oben erwähnte ganz kleine Erwärmung jetzt größer wird, woraus man folgerte, daß nun außer dem Jouleverluste noch ein anderer hinzukommt, der von einer ihr verschiedenen Natur sein muß.<sup>1-3)</sup>

Auf diesen Umstand wurden zuerst A. Siemens,<sup>4)</sup> und Hutin et Leblanc<sup>5)</sup> aufmerksam.

<sup>1)</sup> Gasnier, Les pertes d'énergie dans les diélectriques. Industrie él. 1895. Bd. IV, S. 625.

<sup>2)</sup> Eisler, Untersuchungen über den Arbeitsverlust im Dielektrikum. Ztschr. f. Elektrotechnik 1895, S. 245.

<sup>3)</sup> Anonym, Energy losses in dielectrics. Electr. Rew. 1895. Bd. XXXVII, S. 795.

<sup>4)</sup> A. Siemens, Some experimental investigations of alternate currents. Electrician 1892. Bd. XXVIII, S. 431.

<sup>5)</sup> Hutin et Leblanc, Etudes sur les courants alternatifs et leur application à la transmission de la force. Lumière él. 1891. Bd. XL, S. 257.

Auch: ETZ 1892, S. 207.

Lumière él. 1893. Bd. XLIV, S. 95.

1892 fand bereits Steinmetz,<sup>1)</sup> daß die Verluste eines Kondensators von drei Mikrofarad bei 170 Perioden mit Wechselstrom ca. das 12fache der Verluste mit Gleichstrom betragen, und meinte, daß diese von einer dielektrischen Hysterisis herrührten, die aber nicht seinem Gesetze der magnetischen Hysterisis

$$(V = \eta \mathfrak{B}^{1,6}),$$

sondern

$$V = k E^2$$

entsprechen sollte.

Hingegen hat Arno<sup>2)</sup> auch diese Verluste entsprechend

$$V = k E^{1,6}$$

gefunden.

Hoor,<sup>3)</sup> der sich eingehend und seit langer Zeit mit der Naturgeschichte der dielektrischen Körper beschäftigt, gibt

$$V = k E^{1,7} \text{ an.}$$

Mercanton<sup>4)</sup> aber noch höhere Werte, wie  $k E^2$ .

<sup>1)</sup> Steinmetz, Dielectric hysteresis. The loss of energy in a dielectric medium under alternating electrostatic train. Electr. Engineer. 1892. Bd. XIII, S. 272.

<sup>2)</sup> Arno, Champ électrique tournant et rotation due à la hysteresis electrostatique. Lumière él. 1892. Bd. XLIV, S. 537.

Auch: Electricien (2<sup>me</sup> série). 1892. Bd. IV, S. 425.

ETZ 1893, S. 17.

Ztschr. f. Elektrotechnik 1893, S. 124.

Electrician 1893. Bd. XXX, S. 516.

Electr. Rew. 1893. Bd. XXXII, S. 79.

<sup>3)</sup> Hoor, Neuere Beiträge zur Naturgeschichte dielektrischer Körper. ETZ 1901, S. 170.

Auch: Az elektromos, mágnesi és mechanikai polarizáció közötti kapcsolat és a belőle levezethető anyagvizsgálási módszerek. Zeitschr. des ung. Ing.- und Arch.-Vereins 1901. Bd. XXXVI, S. 77.

Az elektromos kondenzátor és gyakorlati alkalmazása. Ztschr. d. ung. Ing.- u. Arch.-Vereins 1900, Bd. XXXV.

<sup>4)</sup> Mercanton, Sur l'énergie dissipée dans les dielectriques soumis à des champs alternatifs. Eclairage él. 1902. Bd. III, S. 445.

Auch: E. T. Z. 1902, S. 348.



Aber alle diese Forscher, wie auch andere, wie Abegg,<sup>1)</sup> Brylinski,<sup>2)</sup> Bouty,<sup>3)</sup> Bedell,<sup>4)</sup> Ballantyne and Williamson, Fleming and Dewar,<sup>5)</sup> Hopkinson and Wilson,<sup>6)</sup> Janet,<sup>7)</sup> Nernst,<sup>8)</sup> Rosa and Smith,<sup>9)</sup> Schaufelberger,<sup>10)</sup> Smale,<sup>11)</sup> Starke,<sup>12)</sup> Threlfall,<sup>13)</sup> H. F. Weber<sup>14)</sup> nehmen die Existenz der dielektrischen Hysterisis rückhaltlos an.

Northurp versuchte wiederum zu zeigen, daß die Phänomene, denen Ewing im magnetischen Felde den Namen „viskose Hysterisis“ gab, und die dort aus der progressiven Magnetisierung resultieren, auch im elektrostatischen Felde ein Analogon haben.

Die elektrostatische Hysterisis wird aber von manchen überhaupt in Abrede gestellt.

Als erster hat dies Benischke<sup>15)</sup> getan, der seine Untersuchungen durch Messungen an Paraffinkondensatoren und solchen mit paraffiniertem Papier ausgeführt hat, und bei dem

1) Abegg, Wied. Ann. Bd. LX, S. 54.

2) Brylinski, Lumière él. 1893. Bd. XLVII, S. 601.

3) Bouty, Comptes rendus. Bd. CX, S. 1362.

4) Bedell, Ballantyne and Williamson, Phys. Rev. 1893. Bd. I, S. 181.

5) Fleming and Dewar, Proc. of Royal society. Bd. LXI, S. 299.

6) Hopkinson and Wilson, Phil. Trans. Bd. CLXXXIX, S. 109.

7) Janet, Industrie él. 1893. Bd. II, 115.

8) Nernst, Zeitschr. f. Phys. Chemie. Bd. XIV, S. 622.

9) Rosa and Smith, Phys. Rev. 1899, Jan.

Auch: Phil. Magaz. 1899, Jan.

Electr. World. 1899. Bd. XXXIII, S. 154.

10) Schaufelberger, Wied. Ann. Bd. LXVII, S. 307.

Auch: ETZ 1899, S. 233.

Eclairage él. 1899. Bd. XIX, S. 38.

11) Smale, Wied. Ann. Bd. LX, S. 629.

12) Starke, Wied. Ann. Bd. LX, S. 625.

13) Threlfall, Electr. Rev. 1897. Bd. XL, S. 777.

14) H. F. Weber, Wied. Ann. Beibl. 1897, S. 353.

15) Benischke, Wiener Sitzungsberichte, 102. Bd. II, S. 1345.

die sehr kleine Erwärmung im Wechselstromkreise annähernd (bis auf 25  $\frac{0}{0}$ ) mit derjenigen übereinstimmte, die sich mit Hilfe des Jouleschen Gesetzes aus dem mit Gleichstrom gemessenen Widerstand des Dielektrikums berechnet.

Auch Heß<sup>1)</sup> schließt aus den von verschiedenen Forschern, so Bouty,<sup>2)</sup> angestellten Messungen, daß es keine dielektrische Hysterese gebe, und daß der Energieverbrauch im nicht homogenen Dielektrikum von der Rückstandsbildung herrührt. Die Frage der Viskosität läßt er aber unbeantwortet.

Pellat und Beaulard<sup>3-4)</sup> sind gleichfalls der Meinung, daß die Dielektrika nur Phänomene der dielektrischen Viskosität, aber keine Hysterese zeigen.

Borel<sup>5)</sup> kommt zu denselben Schlußfolgerungen wie Heß, und auch Porter und Morris<sup>6)</sup> geben die dielektrische Hysterese nicht zu.

Man sieht also, daß die Existenz einer dielektrischen Hysterese nicht so bestimmt angenommen werden darf, wie die der magnetischen Hysterese, und die unter Residualentladungen bekannten Erscheinungen dürften folglich auch nicht ohne allen Zweifel der Hysterese zuzuschreiben sein. Um so mehr ist also die von Maxwell verzeichnete und auch von Hoor aufgeführte Tatsache<sup>7)</sup> erwähnenswert, daß in den Residuumserscheinungen vielleicht solche Vorgänge zur Geltung

1) Heß, Eclairage él. 1895. Bd. IV, S. 205.

2) Bouty, Comptes rendus. Bd. CXVII, S. 222. Bd. CXVIII, S. 918.

3) Pellat et Beaulard, Comptes rendus. Bd. CXXX, S. 1457.

4) Beaulard, Eclairage él. 1900. Bd. XXIII, S. 235.

Auch: Industrie él. 1900. Bd. XI, S. 201.

Electrician 1900. Bd. XLV, S. 222.

Electr. World 1900. Bd. XXXX, S. 989.

5) Borel, Industrie él. 1893. Bd. II. S. 265.

6) Porter and Morris, Electrician 1895. (12. April.)

7) Hoor, Neuere Beiträge zur Naturgeschichte dielektrischer Körper.

gelangen, auf die nicht so sehr die herrschenden Begriffe der dielektrischen wie eher der chemischen Polarisation anwendbar sind.

64. Bei der vorliegenden Aufgabe ist aber nicht so sehr der Umstand von Interesse, welches die Ursachen — ob Hysteresis oder anderes — der Energieverluste in den Dielektrica sind, wie vielmehr, was für Größenordnungen dieselbe haben.

Gehen nun die verschiedenen Beobachtungen auch ziemlich auseinander, so steht doch fest — wie bereits erwähnt — daß kein Apparat der Elektrotechnik einen so hohen Wirkungsgrad wie der Kondensator aufzuweisen hat.

Von den verschiedenen gefundenen Werten sind noch die von Bedell, Ballantyne and Williamson<sup>1)</sup> die ungünstigsten. Sie fanden für einen Kondensator von 1,525 Mikrofarad, aus 65 Stück 25/20 cm langen quadratischen Zinnblättern und Wachspapier gebildet, bei 500 Volt und 160 Perioden den Wirkungsgrad 96<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Alle anderen Beobachtungen sind aber weit günstiger: Svinburne<sup>2)</sup> gibt die Verluste bei 2000 Volt und 10 Ampere mit 5—10 Watt, also 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> an. Boucherot<sup>3)</sup> beziffert sie in maximo auf 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, Steinmetz<sup>4)</sup> auf  $\frac{1}{2}$ <sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Eisler<sup>5)</sup> fand für einen Paraffinkondensator von ca. 2 Mikrofarad bei 35 Volt und 45 Perioden 0,0552 Watt, also auch

<sup>1)</sup> Bedell, Ballantyne and Williamson, Condensators and dielectric hysteresis. Phil. Rev. 1893. Bd. I, S. 181.

Eclairage él. 1894. Bd. I, S. 45.

<sup>2)</sup> Svinburne, Electrician 1892. Bd. XXVIII, S. 187.

Auch: Lumière électrique 1892. Bd. XLIII, S. 374.

Industrie él. 1892. Bd. I, S. 20.

<sup>3)</sup> Boucherot, Lumière él. 1893. Bd. XLVII, S. 156.

<sup>4)</sup> Steinmetz, ETZ 1901, S. 605.

<sup>5)</sup> Eisler, ETZ 1899, S. 201.

weniger als 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, wobei die Verluste durch Joulewärme nur 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> der totalen Verluste betragen haben sollen.

Bezüglich der Verluste wäre also eine allgemeinere Verwendung von Kondensatoren mit großen Vorteilen verbunden.

65. Diese günstigen Verhältnisse bezüglich des Wirkungsgrades ändern sich aber, sobald Flüssigkeitskondensatoren — in der französischen Literatur nennt man sie oft Polarisatoren<sup>1)</sup> — angewendet werden, auf welche man oft wegen ihrer Billigkeit, leichten Regulierbarkeit und Unverwüstlichkeit angewiesen ist. Wenn es auch nicht vorteilhaft ist, daß ihre Kapazität nicht konstant ist, sondern sich mit der EMK der Polarisation ändert, ein Umstand, den Hoor auch für feste Dielektrica zu beweisen suchte.

Sheldon, Leitch and Shaw<sup>2)</sup> scheinen solche Kondensatoren zuerst untersucht zu haben. Sie zeigten, daß die Kapazität der Flüssigkeitskondensatoren sich bei Parallel- oder Serieschaltung ebenso verhält, wie der der festen. Mit ihrer einfachen Methode zur Bestimmung der Kapazitäten — sie bestimmten die Elektrizitätsmenge, die zur Umpolarisierung einer Zersetzungszelle notwendig ist, die Hälfte davon durch die Ladungsspannung dividiert gibt die Kapazität — fanden sie, daß

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{k} \left( \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} \right),$$

wo  $S_1, S_2$  die Plattenoberflächen sind,  $k$  aber eine von der Natur der Elektroden des Elektrolyten und der Temperatur abhängige Konstante. Daß man sich aber auf solche Versuche wiederum nicht ganz verlassen darf, zeigten die Untersuchungen von Blondlot,<sup>3)</sup> der 31 Mikrofarad für  $k$  dort fand, wo die obengenannten 284—314 Mikrofarad.

<sup>1)</sup> Anonym, Eclairage él. 1896. Bd. VIII, S. 409.

<sup>2)</sup> Sheldon, Leitch and Shaw, Electr. Rev. 1895. Bd. XXXVI, S. 801.  
Auch: Fortschritte 1895, S. 341.

<sup>3)</sup> Blondlot, Eclairage él. 1896. Bd. VIII, S. 400.

Von einer pünktlichen Bestimmung der Verluste kann also hier nicht die Rede sein, darin sind aber alle Forscher überein, so Sheldon, Leitch and Shaw, Davis,<sup>1)</sup> Armagnat,<sup>2)</sup> Ducretet<sup>3)</sup> und andere, daß die Verluste in diesen Kondensatoren viel zu groß sind, um solche an Stelle von festen zu verwerten.

Daß man trotzdem viele Versuche mit ihnen machte, hatte wohl den Grund, daß man Flüssigkeitskondensatoren als Anlasser zur Erzeugung der Kunstphase gut verwenden kann (§ 27), da solche nur kurze Zeit in Betrieb sein müssen, die Energieverluste also keine große Rolle mehr spielen.

Von den Versuchen waren viele ganz negativ, wie die von Korda,<sup>4)</sup> der seine Erfolglosigkeit auf diesem Gebiete auf meine diesbezügliche Anfrage liebenswürdigerweise bestätigte; oder man gelangte durch sie zu anderen Anwendungen, wie z. B. Pollak, der zwar auch Kondensatoren mit Salzlösungen erbaute, die 140 Volt aushielten,<sup>5)</sup> dadurch aber dann auf die bekannten elektrolytischen Stromrichter kam,<sup>6)</sup> die den Wechselstrom nur in einer Richtung durchlassend eine Art Gleichstrom-Wechselstromumformer bilden.

1) Davis, Electr. World. 1896. Bd. XXVIII, S. 665.

2) Armagnat, Eclairage él. 1897. Bd. IX, S. 534.

3) Ducretet, Lumière él. 1892. Bd. XLIV, S. 254.

4) Korda, Lumière él. 1892. Bd. XLIV, S. 254.

5) Pollak, Comptes rendus. Bd. CXXIV, S. 1443.

Auch: Electrician 1897. Bd. XXXIX, S. 301.

6) Derselbe, D. R. P. 92564, 99101, 107435.

ETZ 1898, S. 863.

## Siebentes Kapitel.

# Über die Herstellung und die Zukunft der technischen Kondensatoren.

---

66. Es ist schwierig, eine ausführlichere Darstellung der praktischen Versuche an Kondensatoren zu geben.

Es liegt eben im Wesen der Sache, daß die Resultate praktischer und dazu meistens solcher Versuche, die noch nicht ganz abgeschlossen sind, viel seltener veröffentlicht werden als theoretische Untersuchungen.

Beschäftigt man sich aber mit der Rolle der Kondensatoren in der Wechselstromtechnik, so fällt es sofort auf, daß fast alle diejenigen Forscher — aber auch fast nur diese — die sich mit der theoretischen Verwertung der Kondensatoren beschäftigen, es auch andauernd mit der praktischen Herstellung von leistungsfähigen Kondensatoren versuchten.

Die Geduld der Untersuchenden und die Vielseitigkeit der Versuche zeigen nun zur Genüge, daß man auch viel Vertrauen in ihr Gelingen hat, ein Umstand, der allein schon eine Zukunft für die Kondensatoren erhoffen läßt.

So haben sich Arno, Bedell, Bláthy, Boucherot, Bradley, Brown, Hoor, Hutin et Leblanc, Jablochhoff, Kleiner, Lombardi, Stanley and Kelly, Svinburne etc., nachdem sie die vereinzelt Anwendungen theoretisch erwogen hatten, zu Werke getan und die Kondensatoren zu verbessern gesucht.

Sie haben aus den verschiedenen Stoffen Proben ausgeführt. So mit gewöhnlichem Papier, Paraffinpapier, Ölpapier, Wachspapier, Glas, Mika, Ebonit, Schwefel, Guttapercha, Kautschuk, Seide, Asphalt, Pflanzenfasern, Petroleum etc., um technisch brauchbare, also solche Kondensatoren, die die größte Spannung bei möglichst kleinem Preise aushalten können, zu erbauen.

Bei der Anwendung von Kondensatoren sind nämlich diese beiden Punkte ausschlaggebend, denn durch unbeabsichtigte Resonanzerscheinungen können gerade bei Kondensatoren leicht Spannungserhöhungen stattfinden, und sind die Apparate diesen nicht gewachsen, so wird bei einem Durchschlagen derselben nicht nur die Anlage, sondern unter Umständen auch die ganze Umgebung gefährdet.

Der große Preis schließt eine technische Verwendung dann eo ipso aus, weil man ja durch Einführung der Kondensatoren eben Ersparnisse erzielen will.

67. Die Frage des Preises der Kondensatoren wurde von Boucherot — und zwar als Fortsetzung seiner bereits besprochenen theoretischen Untersuchungen (Kap. V) — zu bestimmen versucht, und es ist ihm auch gelungen zu zeigen, daß der Preis eines Kondensators seiner Kapazität und dem Quadrate der maximal zu ertragenden Spannung annähernd proportional ist.<sup>1-5)</sup>

<sup>1)</sup> Boucherot, Accroissement de l'utilisation des alternateurs. Industrie él. 1892. Bd. I, S. 27.

<sup>2)</sup> Derselbe, Sur le prix des condensateurs. Industrie él. 1892. Bd. I, S. 123.

<sup>3)</sup> Auch: Condensateurs industriels. Bulletin de la société, 1898. Bd. XV, S. 79.

Eclairage él. 1898. Bd. XIV, S. 303.

Industrie él. 1898. Bd. VII, S. 58.

Electr. World. 1898. Bd. XLII, S. 214.

ETZ 1898, S. 126.

<sup>4)</sup> Boucherot, Sur l'emploi des condensateurs. Lumière él. 1890. Bd. XXIV, S. 301.

<sup>5)</sup> Géraldy, L'emploi industriel des condensateurs. 1892. Bd. XXIV, S. 253.

Baut man nämlich einen Kondensator von Kapazität  $C$  und dem Querschnitte  $S$ , der bei der Plattendicke  $\varepsilon$  eine Spannung  $E$  in maximo aushalten kann, und frägt man dann, wie man diese Dimensionen modifizieren muß, um bei selber Kapazität die Spannung  $2E$  auszuhalten, so muß man mit Verdoppelung auch die Dicke des Dielektrikums  $\varepsilon$  verdoppeln.

Damit nun die Kapazität — wie verlangt — dieselbe bleibe, muß auch  $S$  verdoppelt werden; das Volumen wird also bei diesem Kondensator hierdurch vervierfacht und mithin auch sein Gewicht annähernd<sup>1)</sup> viermal so groß. Daraus kann man nun ersehen, daß sich der Preis eines Kondensators mit dem Quadrate der auszuhaltenden Maximalspannung ändert.

Da der Preis aber auch der Kapazität proportional sein muß, wird

$$P = \gamma C E^2,$$

wo man nach Boucherot  $\gamma$  den Preis eines Voltfarad des betreffenden Materials nennen kann.

Es läßt sich ferner beweisen, daß diese Beziehung auch dann gilt, wenn man mehrere Kondensatoren von der gleichen Kapazität  $c$  und gleichem Preise derartig zu schalten versucht, daß sie eine Batterie von der Kapazität  $C = mc$  bilden, die eine Spannung  $E = ne$  aushalten soll, wo  $m$  und  $n$  bestimmte positive Zahlenwerte sind.

Da die verlangte Maximalspannung  $ne$  ist, hat man  $n$  Kondensatoren in Serie (Kaskadenschaltung) zu schalten. Die Kapazität dieser Anordnung wird  $\frac{C}{n}$  sein.

<sup>1)</sup> Darum nur „annähernd“, weil das Gewicht der Armatur nicht wie das des Dielektrikums vervierfacht, sondern nur verdoppelt wird.



Um nun auch die verlangte Kapazität  $C$  zu erreichen, wird man

$$\frac{C}{c} = \frac{m c}{c} = m n$$

Gruppen parallel schalten müssen, zusammen also  $m n^2$  Apparate benutzen.

Der Preis der gebrauchten Kondensatoren wird

$$P = p m n^2$$

sein, woraus, da

$$m = \frac{C}{c}, \quad n = \frac{E}{e},$$

folgt, daß

$$P = \frac{n}{c e^2} C E^2 = \gamma C E^2. {}^1)$$

In Wirklichkeit würden diese Formeln allerdings nicht ganz stimmen, weil sich das Gewicht nicht ganz vervierfacht<sup>1)</sup>, dann aber wegen den verschiedenen Arbeitslöhnen, und auch, weil die Preise der Dielektriciis nur dann ganz ihrer Dicke proportional wären, wenn man die Dielektrica überhaupt unendlich teilen könnte.

In Wirklichkeit setzt auch Boucherot<sup>2)</sup>

$$P = \gamma C E^{1,8-1,9}.$$

Seine erstere Formel tut aber bei den Voranschlagungen doch guten Dienst. Wollte man nämlich den Preis der Kondensatoren nicht schon anfangs berücksichtigen, so könnte man ja ein jedes Problem leicht lösen, denn ein Kondensator, dessen richtige Tätigkeit bei 1000 Volt noch zweifelhaft ist,

<sup>1)</sup> Als genäherter Wert von  $\gamma$  gibt Janet für einen Kondensator von 1 Mikrofarad und für 2000 Volt Spannung 2,10 Frcs. an. Mithin würde sich dieser Kondensator auf ca. 64 Mk. stellen. (Lessons d'électrotechnique générale, Paris 1900, S. 36.)

<sup>2)</sup> Boucherot, Bulletin de société, 1898. Bd. XV, S. 81.

wird bei 100 gewiß entsprechen, aber bei gleicher Leistung auch 100 mal soviel kosten.

68. \*Geht man nun zur Wahl der verschiedenen Materialien über, so muß man außer ihrem Preis auch ihre Erwärmung berücksichtigen, über deren Ursachen bereits gesprochen wurde. Der Einfluß der Erwärmung ist gleichfalls von Boucherot untersucht worden. Zwischen paraffiniertem Papier und Ölpapier fand er z. B. folgenden Unterschied:

Paraffinpapier:		Ölpapier:	
Temperatur	Widerstand	Temperatur	Widerstand
99°	500 000 Ohm	95°	5 500 Ohm
77°	1 700 000 „	74°	17 000 „
48°	6 Megohm	44°	45 000 „ (?)
19°	19 „	17°	145 000 „

Diese Zahlenwerte zeigen zur Genüge, wie sehr verschieden das Verhalten der beiden, als gute anerkannte Isoliermaterialien ist.

69. Trotz des niederen Schmelzpunktes des Paraffins — ca. 44° — ist man heute doch allgemein der Meinung, daß man aus paraffiniertem Papier noch die besten Kondensatoren erhalten kann. Dementsprechend sind die Eigenschaften des Paraffin — einer zu den gesättigten Kohlenhydraten ( $C_n H_{2n+2}$ ) gehörenden Mischung verschiedener festen Kohlenwasserstoffe von der Hauptformel  $C_{24} H_{50}$  — weit mehr bekannt, wie von allen anderen dazu benützten Materialien. Eine Idee über seine Isoliereigenschaften geben Versuche von Macfarlane,<sup>1)</sup> der (1877) Dreimillimeterparaffin erst mit 39 000 Volt, das Doppelte wie für Luft durchschlagen konnte, oder von Monti,<sup>2)</sup> der sogar 150 000 Volt gebraucht haben soll, um 5 mm Paraffinplatten vom Schmelzpunkte 54,7° durchzuschlagen.

<sup>1)</sup> Macfarlane, Electrician. 1893. Bd. XXXI, S. 680.

<sup>2)</sup> Monti, Sparking distances in paraffin. Electrician. 1893. Bd. XXXI, S. 680.

Auch Hutin et Leblanc führten viele Versuche mit Paraffinkondensatoren aus.<sup>1)</sup> Die ersten davon — wobei sie bis 2500 Volt gingen — sollen von negativem Resultate begleitet gewesen sein. Später ersannen sie aber eine die Paraffinkondensatoren wesentlich verbessernde Zubereitungsmethode, bei der man das Papier bei einer hohen, die Zersetzungstemperatur des Paraffins fast erreichenden Temperatur präpariert. Sie behaupten sogar, daß, wenn man anfangs den Wechselstrom vorsichtig anwendet und ihn bei einer Erwärmung des Kondensators ausschaltet, diese sich durch den Gebrauch nur verbessern.

Außer ihnen haben dann Bedell, Ballantyne, and Williamson,<sup>2)</sup> Hoor,<sup>3)</sup> Threlfall,<sup>4)</sup> Muirhead,<sup>5)</sup> Szvetics,<sup>6)</sup> Willyoug,<sup>7)</sup> Stanley and Kelly<sup>8)</sup> u. a. Paraffinkondensatoren erbaut.

Sehr zufriedenstellend sollen die zu 550 Volt und 60 Perioden erbauten Paraffinkondensatoren der Stanley Electric Mfg. Co. in Pittsfield (Mass.) sein, die sich auch noch durch ihren niederen Preis hervortun sollen.<sup>9)</sup>

---

1) Hutin et Leblanc, *Lumière él.* 1891. Bd. XL, S. 240.

2) Bedell, Ballantyne and Williamson, *Eclairage él.* 1894. Bd. I, S. 45.

3) Hoor, *E. T. Z.* 1901, S. 170.

4) Threlfall, *Electr. World.* 1897. Bd. XXIX, S. 712.

5) Muirhead, *Lumière él.* 1892. Bd. XLV, S. 133.

6) Szvetics, *A magyar mérnök és építészegylet közlönye.* Bd. XXXVI, S. 84.

7) Willyoug, *Fortschritte* 1896, S. 326.

Auch: *Electr. Engineer.* 1896. Bd. XXI, S. 57.

8) Stanley and Kelly, U. S. P. 455 773, 505 859, 505 860, 508 887.

Auch: *Electr. World.* 1893. S. 325.

9) Anonym, *Electr. World.* Bd. XXXVIII, S. 1080.

Auch: *Electr. World.* Bd. XXXI, S. 219.

Die Kondensatoren von Kleiner<sup>1)</sup> sollen gar keine Rückstandbildung zeigen.

Tesla<sup>2)</sup> z. B. versuchte die Kondensatoren in luftleeren Behältern aufzubauen, die sodann mit Paraffin ausgegossen wurden.

70. Die besten Erfolge mit Paraffinkondensatoren hat jedoch Lombardi<sup>3)</sup> aufzuweisen, der sich gleichfalls lange Zeit erst mit der theoretischen Untersuchung der Kondensatoren beschäftigte und eine größere Studie über die Kapazität enthaltenden Wechselstromkreise veröffentlicht hat.

Die ersten Resultate seiner Versuche mit Hochspannungskondensatoren teilte er dem Elektrikerkongreß in Como mit: an der Pariser Ausstellung waren dann seine Kondensatoren in der Abteilung des italienischen Gewerbemuseums ausgestellt.<sup>4)</sup> Seine Erfolge soll er einer eigenen Fabrikationsmethode zu verdanken haben,<sup>5)</sup> einer Flußmethode, die erlaubt, sehr dünne und ganz homogene Platten ohne Benützung fremder Materialien, die den Dielektriciis nur schlechte Eigenschaften zuführen sollen, zu erhalten. Neuestens sollen sich Tedeschi & Co. erboten haben, Lombardi-Kondensatoren für 10000 Volt mit 2 mm Platten, die bei der Probe 30000 Volt aushalten, zu erbauen.

1) Kleiner, Fortschritte 1896, S. 726.

Auch: Wied. Ann. Beiblätter 1896, S. 989.

2) Tesla, U. S. P. 577671.

Auch: Electr. World. 1897. Bd. XXIX, S. 345.

Electr. Engineer. 1897. Bd. XXIII, S. 252.

3) Lombardi, Wied. Ann. Beiblätter 1899, S. 708.

Auch: ETZ 1899, S. 714.

Eclairage él. 1899. Bd. XXI, S. 512.

Industrie él. 1899. Bd. VIII, S. 434.

Erschienen im Nuovo Cimento 1897. Bd. IX, S. 354.

4) Rapports et comptes rendus du congrès international des électriciens de 1900. (Paris 1901.) Bd. I.

5) Lombardi, E. P. 9133 (1900).

71. Außer Paraffin hat man u. a. folgende Kondensatoren versucht:

Svinburne benutzte das in England unter dem Namen „butter skin“ bekannte Papier. Nachdem sein Kondensator während mehreren Tagen bei  $100^{\circ}$  trocknet, kommt er unter die Glocke einer Luftpumpe und man führt dann noch Paraffinöl ein, das die freien Fugen zwischen dem Papier und den Zinnblättern füllt.<sup>1-4)</sup>

Glas wurde u. a. von Jablochkoff (§ 11), Lehmann<sup>5)</sup> und Mengarini<sup>6)</sup> angewandt, ein Luftkondensator von Lord Kelvin<sup>7)</sup> erbaut.

Ebonit — eine Mischung von 20—35 $\frac{0}{0}$  Kautschuk mit 100 $\frac{0}{0}$  Schwefel, den man während 8—12 Stunden in einem heißen Kessel bei 4,5 Atm. auf den Schwefel einwirken läßt, wurde von Hutin et Leblanc<sup>8)</sup> gewählt. Ihre Ebonitplatten hatten 2 mm Dicke und konnten nur bei 11000 Volt mit 75 Perioden durchgeschlagen werden. Daß Ebonit trotzdem aufgegeben wurde, liegt an dem hohen Preis; so geben Hutin et Leblanc bei 0,5 mm Dicke 6,5 Fres., bei 0,12 mm 12 Fres. pro Kilogramm an.

Celluloid wurde von Hutin et Leblanc gleichfalls versucht, aber aufgegeben, und zwar, weil es zu feuergefährlich war.

1) Janet, *Lessons d'électrotechnique générale*. (Paris 1900.) S. 105.

2) Roux, *Fabrication des condensateurs industriels*. *Industrie él.* 1892. Bd. I, S. 115.

3) Andreoli, *Substances tirées de l'huile de poisson*. *Electricien*. Bd. XVI, S. 287.

4) Géraldy, *L'emploi industriel des condensateurs*. *Lumière él.* 1892. Bd. XLIV, S. 301.

5) Lehmann, *Centralblatt für Elektrotechnik* 1887.

6) Hoor, *Magyar mérnök és építészegylet közlönye* 1901. Bd. XXXVI.

7) Lord Kelvin, *Lumière él.* 1892. Bd. XLIV, S. 139.

8) Hutin et Leblanc, *Lumière él.* 1891. Bd. XL, S. 240.

Stanley and Kelly nahmen anfangs Paraffin oder Ebonit, jetzt sollen sich für ihre Kondensatoren ein geheimes Material, aus dem sich sogar Schichten von 0,075—0,125 mm Dicke herstellen lassen, benützen.<sup>1)</sup>

Mit Mika wurden im großen von Bradley<sup>2-3)</sup> Kondensatoren erbaut, auch seine Kondensatoren mit stearinsauerem Blei haben viel von sich reden lassen.

Pflanzenfasern wurden von Bláthy und Hoor<sup>4)</sup> genommen.

Durch eine mit Öl getränkte faserige Substanz wird die Metallfolie auch bei dem Kondensator von Wurtz<sup>5)</sup> getrennt.

Mit Seide machte Lombardi<sup>6)</sup> viele Versuche. Die größte Schwierigkeit soll dabei an der Feuchtigkeit der Seide gelegen haben. Einer seiner Kondensatoren bestand z. B. aus 100 Stück 28/18 cm Zinnplatten, durch doppelte Seidenbogen getrennt und besaß bei einer Dicke von 1,2 cm bei  $21^0$  0,351 Mikrofarad Kapazität und 10000 Megohm Widerstand.

Sollberger<sup>7)</sup> legt bei seinem Kondensator zwischen die Platten in Schmierseife gekochte rohe Stoffstreifen. Der Stoff hat hierbei den Zweck, die Seife auch bei der bei Überlastung eintretenden Erwärmung festzuhalten.

<sup>1)</sup> Stanley and Kelly, Industrie él. 1892. Bd. I, S. 183.

<sup>2)</sup> Bradley, E. P. 17583. (1896.)

Eclairage él. 1898. Bd. XVI, S. 456. Bd. XVII, S. 203.

<sup>3)</sup> Bradley, D. R. P. 106420.

E. P. 10652. (1898.)

U. S. P. 587114, 603722, 617714.

Auch: Ztschr. f. Instrumentalkunde 1899, Dez.

Electr. Engineer. 1899. Bd. XXVII, S. 134.

<sup>4)</sup> Bláthy und Hoor, Electrician 1897. Bd. XXXVIII, S. 619.

<sup>5)</sup> Wurtz, U. S. P. 503186.

<sup>6)</sup> Lombardi, Wied. Ann. Beiblätter 1894, S. 678.

Auch: E. T. Z. 1894. Bd. XXXIII, S. 418.

Electrician 1894, S. 302.

<sup>7)</sup> Sollberger, D. R. P. 116992.

72. Schließlich soll noch einiger Kondensatoren, die besondere Anordnungen zeigen, Erwähnung gemacht werden.

Als solche sind zuerst die „adjustable condensers“ von Briggs<sup>1-3)</sup> zu nennen, die man auf beliebige Kapazität einstellen kann. Zwischen einem Mikadielektrikum befinden sich nämlich leicht gekrümmte elastische Messingblätter. Der Kondensator will sich also ausdehnen, wird aber durch eine Schraubenpresse daran verhindert. Durch Plattdrücken mit derselben soll nun die vierfache Kapazität des Anfangszustandes erreicht werden.

Ein ähnlicher Kondensator ist auch der von Willyoug.<sup>4)</sup>

Die Kondensatorenkonstruktionen von Muirhead und von Lee, Wescott und Robes berücksichtigen auch noch die Erwärmung.

Muirhead<sup>5)</sup> baute nämlich Kondensatoren, deren Kapazität sich mit der Temperatur nicht ändert, indem er solche Dielektrica anwandte, deren Temperaturkoeffizienten entgegengesetzt wirken, und zwar Glimmerplatten mit Schellack und Glimmerplatten mit Paraffin.

Lee, Wescott und Robes<sup>7)</sup> patentierten wiederum ein Verfahren, um die Lagen der erwähnten Kondensatorrollen abzuwinden.

---

<sup>1)</sup> Briggs, A new form of electrical condensers having a capacity capable of continuous ajustement. *Electr. Rew.* 1899. Bd. XLV, S. 456.

<sup>2)</sup> Derselbe, Continuously adjustable condenser. *Phys. Rew.* 1900, Juli.

<sup>3)</sup> Briggs, Continuously adjustable condenser. *Electrician* 1900. Bd. XLV, S. 590.

Auch: *Electr. World.* 1900. Bd. XXXVI, S. 220.

<sup>4)</sup> Willyoug, *Fortschritte* 1896, S. 326.

Auch: *Electr. Engineer* 1896. Bd. XXI, S. 657.

<sup>5)</sup> Muirhead, *Lumière él.* 1892. Bd. XLV, S. 153.

<sup>6)</sup> Tobler, Über das Verhalten eines Kondensators mit großer Kapazität. *E. T. Z.* 1899, S. 639.

<sup>7)</sup> Lee, Wescott and Robes, *Electr. World* 1897. Bd. XXIX, S. 189.

Auch: *Electr. Engineer.* 1897. Bd. XXIII, S. 123.

Eine Art von kleinem Akkumulator soll ein von Hewitt<sup>1)</sup> neuerdings patentierter Kondensator sein, bei dem die Armatur aus konzentrischen Ringen besteht, die auf die Dielektriciis derartig angebracht sind, daß der Entladestrom durch eine Spirale fließt, der ein Magnetfeld erzeugt, das in der Nähe einen Strom induzieren soll, der dann eine Lampe zum Glühen bringen kann.(??)

73. Es sei noch eine interessante, von Arno herrührende Anwendung der dielektrischen Hysteresis erwähnt.

Arno<sup>2)</sup> setzte eine aus einem Dielektrikum bestehende Scheibe auf eine Spitze, die im Mittelpunkt einer aus drei voneinander isolierten Sektoren gebildeten Scheibe befestigt ist. Bringt man die Sektoren mit den Polen eines Dreiphasenstromes in Verbindung, so beginnt die Scheibe zu rotieren.

Auf dieses Prinzip gestützt, versuchte dann der Japaner Ho einen Motor zu erbauen.<sup>3)</sup>

---

<sup>1)</sup> Hewitt, U. S. P. 629682.

<sup>2)</sup> Arno, Fortschritte 1894, S. 426.

Wied. Ann. Beiblätter 1900, S. 187.

<sup>3)</sup> Electr. World 1901. Bd. XXXVII, S. 1012.



## Schlusswort.

---

74. Diese verschiedenen Kondensator Konstruktionen, von denen viele nur in (wohl absichtlich) verschleierte Patent-schriften angegeben sind, kann man so ohne weiteres schwer diskutieren. Für die vorliegende Arbeit dürfte ja allein nur der Umstand von Bedeutung sein, ob man sich dem technisch brauchbaren Kondensator genähert hat, oder nicht.

Denn bis zum heutigen Tage haben sich die Kondensatoren in den industriellen Verwendungen, für die man sie verschiedentlich vorgeschlagen hat, nicht sehr hervor getan.

Darin ist ein jeder einig, daß sie geradezu wundervolle Instrumente sind, dank welcher die schwierigsten Probleme der Wechselstromtechnik wie durch ein Wunder — auf dem Papier — gelöst wurden. Aber auch darin war man lange Zeit einig, daß sie für die Praxis solche Fehler haben, daß man sie durch andere Apparate, z. B. durch Synchronmotoren,<sup>1)</sup> ersetzen muß, die ihre Aufgabe zwar nicht so ideal erfüllen, dafür aber billiger und weniger Raum einnehmend sind, und die auch nicht so leicht diese spezielle Musik hören lassen, die für den sich erwärmenden oder kochenden Kondensator so etwas wie ein Schwanengesang wird, um dann gewöhnlich auch mit einem Kurzschlusse zu enden.

Es scheint aber, daß in allerletzter Zeit doch starke

---

<sup>1)</sup> Berg, Compensation of line drop in alternating current circuits. Electr. World. 1900. Bd. XXXV, S. 60.

Verbesserungen in der Ausführung der Kondensatoren eingetreten sind.

Das zeigt schon der Umstand, daß Boucherot z. B. mit 150 Frcs. anfangs den Kondensator-Kilowatt berechnete — wenn man Kondensator-Kilowatt dasjenige nennt, für das

$$2 \pi c E_{eff}^2 C = 1000,$$

Lombardi aber heute diesen Preis mit 50 Frcs. festsetzt.<sup>1)</sup>

Werden aber die Kondensatoren einmal billiger, so gibt es wohl kaum einen Zweig der Wechselstromtechnik, in dem sie keine Rolle spielen werden. Dazu bieten sie — wie gesehen wurde — zu viele und verschiedentliche Vorteile.

Hauptsächlich in den Vereinigten Staaten sind neuerdings viele Stimmen laut geworden<sup>2)</sup> daß, wenn einmal die Kilowatt-Kosten 10 Dollar nicht übersteigen, der Anwendung von guten Kondensatoren kaum mehr etwas im Wege stehen würde.

Und auch das ist nicht unmöglich, daß man mit der Zeit willens darauf zurückkommt, wozu man sich anfangs durch Unwissenheit hat verleiten lassen (§ 11), nämlich Kondensatoren auf irgend eine Weise als Akkumulatoren zu benutzen.

Diese Möglichkeit ist, wenn man an die atmosphärische Elektrizität denkt, gewiß von Bedeutung.

<sup>1)</sup> Hospitalier, L'avenir des condensateurs. Industrie él. 1892. Bd. I, S. 20.

<sup>2)</sup> Lombardi, Eclairage él. 1900. Bd. 384, S. 1080.



## Namenregister.

- A**begg 69.  
Ahston 3.  
Andreoli 81.  
Armagnat 73.  
Arno 67. 84.  
Arnold 41. 50. 74.  
Arsonval, D' 3.
- B**allantyne 69. 71. 79.  
Beaulard 70.  
Bedell 3. 6. 20. 24. 34. 69. 71. 74.  
79.  
Benischke 34. 69.  
Berg 18. 85.  
Blakesley 30.  
Bláthy 39. 42. 43. 74. 82.  
Blondel 18. 30.  
Blondlot 72.  
Borel 70.  
Boucherot 8. 18. 20. 24. 35. 51. 56.  
59. 71. 74. 75. 77.  
Bouquet 7. 58.  
Bouty 69. 70.  
Bradley 46. 48. 74. 82.  
Bragstad 50.  
Briggs 83.  
Brown 42. 44. 74.  
Brylinski 69.
- C**assie 65.  
Chapmann 47.  
Chesney 15. 16.  
Claude 3. 13.  
Crehore 3. 6. 20. 24.
- D**avies 48.  
Davis 73.  
Depoele 41.  
Dewar 69.  
Dobrowolsky 41.  
Drysdale 45. 46.  
Ducretet 73.  
Dubsky 44.  
Dunstan 20. 24.
- E**borall 44.  
Eisler 66. 67. 71.
- F**araday 2.  
Feldmann 6. 7. 30. 34.  
Ferraris 41.  
Fessenden 47.  
Fizeau 1.  
Fleming 1. 3. 7. 69.
- G**arbano 3.  
Gasnier 67.  
Géraldy 13. 75. 81.  
Guilbert 6. 39. 62.  
Guye 30.
- H**anauer 65.  
Hay 6.  
Heinke 3.  
Hess 70.  
Hewitt 84.  
Ho 84.  
Hoor 2. 7. 43. 67. 68. 70. 74. 79.  
81. 82.  
Hopkinson 7. 69.

- Hospitalier 2. 86.  
 Hulne 47.  
 Hutin 4. 17. 35. 36. 42. 67. 74. 79.  
**J**ablochhoff 12. 74. 81.  
 Janet 3. 4. 57. 58. 69. 81.  
**K**app 6.  
 Karpen 3.  
 Kelly 16. 36. 37. 74. 79. 82.  
 Kelvin 6. 81.  
 Kennedy 41.  
 Kirchhoff 6.  
 Kleiner 66. 74. 80.  
 Kolben 44.  
 Korda 20. 23. 73.  
**L**a Cour 50.  
 Leblanc 4. 15. 17. 35. 36. 42. 60.  
 67. 74. 79.  
 Lee 83.  
 Lehmann 81.  
 Leitch 72.  
 Lombardi 74. 80. 82. 86.  
 Loppé 7. 58.  
 Lunt 12.  
**M**acfarlane 78.  
 Martin 28.  
 Maxwell 2.  
 Mengarini 81.  
 Mercanton 68.  
 Meyer 38.  
 Miller 34.  
 Millis 8.  
 Monti 78.  
 Mordey 7.  
 Morris 70.  
 Muirhead 79. 83.  
**N**ernst 69.  
 Northurp 69.  
**O**udin 16. 37.  
**P**ellat 70.  
 Perry 15. 34.  
 Pollak 73.  
 Porter 70.  
 Pupin 20. 23. 49.  
 Perreau 32.  
**R**aleigh 6.  
 Rechniewsky 58.  
 Robes 83.  
 Rosa 66. 69.  
 Roux 81.  
 Russel 20. 24. 63.  
 Ryan 12. 58. 63.  
**S**ahulka 7. 20. 23. 41. 44.  
 Savary 5.  
 Scattergood 3.  
 Schaufelberger 69.  
 Selden 34.  
 Shaw 72.  
 Sheldon 72.  
 Siemens 67.  
 Smale 69.  
 Smith 66. 69.  
 Sollberger 82.  
 Stanley 16. 36. 37. 74. 79. 82.  
 Starke 69.  
 Steinmetz 20. 24. 38. 64. 68. 71.  
 Sumpner 12.  
 Svinburne 13. 33. 71. 74. 81.  
 Szvetics 79.  
**T**esla 12. 17. 28. 41. 42. 80.  
 Thomson (Kelvin) 6. 81.  
 — E. 44.  
 Thompson, S. 16. 44.  
 Threlfall 8. 69. 79.  
 Tobler 83.  
**W**agner 34.  
 Weber 63. 69.  
 Wescott 83.  
 Wilmshurst 46.  
 Williamson 69. 71. 79.  
 Wilson 8. 69.  
 Willyoug 79. 83.  
 Wurtz 82.



S. 61

S - 96



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

II

L. inw.

5389

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299046