Zeitschrift: Technische Beilage zur Schweizerischen Post-, Zoll- & Telegraphen-Zeitung = Supplément technique du Journal suisse des postes, télégraphes et douanes

Band: 2 (1919)

Heft: 4

Artikel: Der Kondensator

Autor: Nussbaum, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-872979

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 13.07.2025

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

Technische Beilage

zur

Schweiz. Post-, Zoll- & Telegraphen-Zeitung

Supplément technique du Journal suisse des Postes, Télégraphes et Douanes

Erscheint alle 2 Monate. — Jahresabonnement Fr. 3.— (durch die Post Fr. 3.20). — Red. Beiträge u. Korr. sind zu adressieren an Herrn E. NUSSBAUM, Schützenweg 17, Bern.

Paraissant tous les 2 mois. — Abonnement Fr. 3.— par an (par la poste Fr. 3. 20). — Pour la RÉDACTION s'adresser à Mr. E. NUSSBAUM, Schützenweg 17, Berne.

Nummer 4. **Burgdorf,** 30. Juli 1919. **II. Jahrgang.**

Inhalt - Sommaire: — *Populäre Elektrizitätslehre:* Der Kondensator. — *Construction des lignes aériennes:* De la stabilité des supports dits triangulaires et quadrangulaires. — Du contrôle des flêches des fils électriques au moyen des vibrations. — *Verschiedenes:* Aus der guten alten Zeit. — Ein Bahnbrecher der drahtlosen Telegraphie. — Irdische und himmlische Technik. — *Chronik.*

Populäre Elektrizitätslehre

Der Kondensator.

Von E. Nußbaum, Bern.

Kein elektrischer Apparat ist an der außerordentlichen Entwicklung des Fernsprechwesens der letzten 10—15 Jahre in so allgemeiner und bestimmender Weise beteiligt, wie der unscheinbare Kondensator. Während er noch vor 20 Jahren nur als interessantes Schaustück im physikalischen Laboratorium bei elektrostatischen Experimenten, als Leydener-Flasche, als Plattenkondensator oder als Franklinsche Tafel gezeigt wurde, und als ungeschlachter Blätterkondensator in Induktorien, für die Bildung künstlicher Leitungen im Hughes-Gegensprechbetrieb oder als Sperrkondensator bei der Kabeltelegraphie Verwendung fand, gibt es heutzutage bald keinen Telephonstromkreis mehr, der nicht einen Kondensator enthielte; ja das ganze C-B-System beruht geradezu auf demselben und sein Gesetz bildet die theoretische Grundlage der Radiotelegraphie.

Der Blätterkondensator ist bedeutend vervollkommnet worden und wird heute als Massenartikel hergestellt. Die Leydenerflasche gelangte in der Radiotechnik zu großem Ansehen und nimmt in den Anlagen der Großstationen einen hervorragenden Platz ein. Außerdem hat die Radio-Technik eine neue Art von Kondensatoren hervorgebracht, den Dreh-Plattenkondensator mit Luftisolation und stetig veränderlicher Kapazität.

Trotz der wichtigen Rolle, die der Kondensator in der Schwachstromtechnik heute spielt, nimmt er in der Fachliteratur nur einen bescheidenen Platz ein. Wohl befassen sich alle Autoren von Lehrbüchern der Elektrizität mehr oder weniger eingehend mit dem Gegenstand; doch ist derselbe in den einzelnen Werken selten erschöpfend behandelt und für eine gründliche Kenntnis des Kondensators, seiner Wirkungsweise und deren Mechanik, sowie der verschiedenartigen Formen und Anwendungen ist man daher auf eine umfangreiche elektrotechnische Literatur angewiesen, welche nicht jedermann zugänglich ist.

Der Verfasser ist sich denn auch bewußt, daß er keine Eulen nach Athen trägt, wenn er versucht, die Leser der Technischen Beilage mit dem Wesen des Kondensators etwas näher vertraut zu machen.

Die Bezeichnung „Kondensator" (von condensare = verdichten) ist eine historische. Wenn man die technische Verwendung des Apparates in Betracht zieht, so paßt diese Bezeichnung nicht mehr. Sie ist überhaupt nur auf einen ganz besondern Fall anwendbar, welcher sozusagen keine praktische Bedeutung erlangt hat. Und auch da nur bedingterweise; nämlich insofern, als man es für möglich hält, das elektrische Fluidum verdichten zu können. Da nun aber dieses Fluidum als inkompressibel betrachtet werden muß, so kann es auch keinen Apparat zur Verdichtung desselben geben. Auf diesen Punkt werden wir weiter unten zurückkommen. Vorerst wollen wir nun das Prinzip des Kondensators anhand einer Reihe von Versuchen entwickeln. Wir greifen dabei zurück auf einige bekannte klassische Experimente der Elektrostatik, welche sich für die Veranschaulichung des elektrischen Verhaltens der Körper, aus denen ein Kondensator zusammengesetzt ist, besonders gut eignen.

Wenn eine Holz'sche oder Wimshurst-Elektrisiermaschine in Bewegung gesetzt und elektrisch erregt wird, so beruht der elektrische Vorgang in einer Störung des elektrischen Gleichgewichts zwischen den beiden Konduktoren, indem die Elektrizität dem einen Konduktor gewaltsam entzogen und dem andern gewaltsam aufgepreßt wird.

Wir sagen dann, der eine Konduktor sei positiv, der andere negativ geladen. Diese entgegengesetzten Ladungen suchen sich auszugleichen, werden aber daran gehindert durch die die Konduktoren trennende (isolierende) Luftschicht. Bringt man ein längliches Stückchen Hollundermark frei beweglich in diesen Luftzwischenraum, so zeigt es ein ähnliches Verhalten, wie ein Eisenstäbchen im magnetischen Feld zwischen zwei entgegengesetzten Magnet-

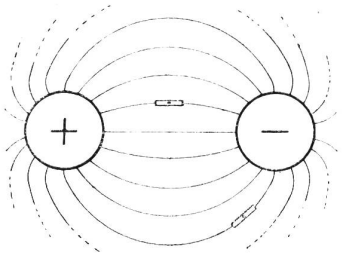

Fig. 1.

polen: es befindet sich in einem *elektrischen Felde* und seine Längsachse liegt in der Richtung der *elektrischen Kraftlinien* (Fig. 1.).

Die Elektrisierung der beiden Konduktoren wird häufig mittels einer Anordnung aus 2 Hohlkugeln veranschaulicht, welche durch ein Rohr miteinander verbunden sind. Durch eine in das Rohr eingebaute Pumpe kann die Luft aus der einen Hohlkugel in die andere hinüber gepumpt werden. In der einen wird sie verdünnt, in der andern verdichtet und so entsteht eine mit jedem Kolbenstoß zunehmende Druckdifferenz, welche dem Kolben entgegenwirkt und ihn zurückzudrängen sucht.

Dieser Vergleich ist indessen nicht ganz zutreffend. Denn hier ist die Luft, welche die Elektrizität vertritt, als kompressibles Gas selber der Sitz der Spannung, was bei der Elektrizität nach unsern Vorstellungen nicht der Fall ist. Zudem ist es nicht rätlich, der Luft in einem bloßen Modell irgend eine Rolle anzuweisen, wo sie schon als Isolator zwischen den Konduktoren eine wichtige und ganz bestimmte Rolle spielt und so im Modell selber einen Vertreter haben muß. Wenn wir aber ohne mechanische Modelle nicht auskommen, um uns eine Vorstellung zu machen von den durch unsere Sinne nicht direkt wahrnehmbaren elektrischen Vorgängen, so wollen wir denn doch solche Modelle zu Hilfe nehmen, welche diese Vorgänge möglichst genau, möglichst naturgetreu nachbilden und veranschaulichen.

Wie bereits erwähnt, muß die Elektrizität, nach allem was bis heute über sie in Erfahrung gebracht worden ist, als inkompressibel betrachtet werden. Sie kann daher nicht selbst der Sitz der Spannung sein und diese muß anderswo gesucht werden: im Raum, der die Konduktoren umgibt und sie von einander elektrisch isoliert. Die Luft, welche diesen Raum erfüllt, ist ein Nichtleiter, ein Isolator. Wie alle Körper, so ist auch sie von dem feinen Stoff, dem elektrischen Fluidum, kurz, der Elektrizität erfüllt; aber die Teilchen derselben sind nicht frei beweglich, wie in einem Leiter, sondern es ist, als ob jedes solche Teilchen Elektrizität an dem Punkte wo es sich befindet, mit elastischen Fäden festgehalten werde. (Die moderne Theorie hat hier zwar eine andere Erklärung). Ein elektrischer Zug oder Druck entfernt es wohl von seiner Ruhelage unter Anspannung der Fäden, aber diese führen es nach aufhören des Druckes wieder in die Ruhelage zurück. Die Luft verhält sich demnach der Elektrizität gegenüber als Isolator wie eine gallertartige, elastische Masse und die Vorgänge, die sich unsichtbar zwischen den beiden Konduktoren der Elektrisiermaschine abspielen, lassen sich ziemlich gut durch folgende Anordnung nachbilden:

In einem Kautschukblock von unbegrenzten Dimensionen sind in geringer Entfernung von einander zwei kugelförmige Hohlräume ausgespart, in welche von außen je ein

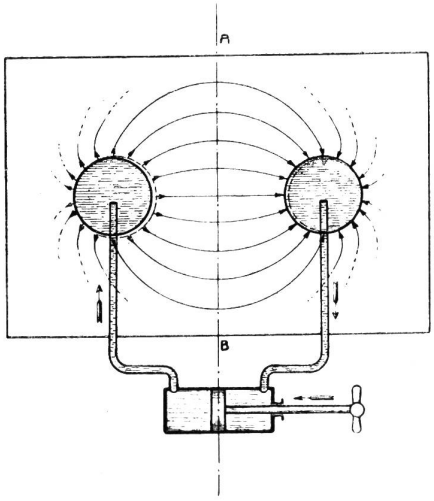

Fig. 2.

Rohr hineinragt. Beide Hohlräume sind vollständig mit Wasser gefüllt und durch die Rohre mit einer Pumpe verbunden (Fig. 2.). Wenn auf die Kolbenstange ein Druck ausgeübt wird, so wird eine gewisse Menge Wasser aus dem einen Hohlraum in den andern gepreßt und es tritt wiederum ein Spannungszustand ein. Dieser hat aber seinen Sitz in der Umgebung der Hohlräume, in der Kautschukmasse. Der Hohlraum, in welchen Wasser hineingepumpt wird, dehnt sich aus; das Wasser verdrängt die Kautschukmasse in radialer Richtung. Es erzeugt in derselben Druckspannungen. Umgekehrt verkleinert sich der andere Hohlraum, welchem Wasser entzogen wird. Die Kautschukmasse wird nach dem Zentrum des Hohlraums gezogen. Hier haben wir eine zentripedale, dort eine zentrifugale Verschiebung der Massenteilchen und da diese Verschiebung sich in der Richtung des geringsten Wiederstandes vollzieht, so ist sie am größten längs der Verbindungslinie zwischen den Zentren der beiden Hohlräume, wo die Kautschukschicht am dünnsten ist. Zu beiden Seiten dieser Linie erfolgt die Verschiebung mehr und mehr in einer gekrümmten Linie, welche in jedem Punkte unschwer als die Resultierende der von den Hohlräumen aus wirkenden Zug- und Druckkräfte erkannt wird. Diese Linien entsprechen den Kraftlinien des elektrischen Feldes.

Die verschobene Wassermenge ist abhängig vom Druck, von den Dimensionen der Hohlräume, ihrem gegenseitigen Abstand und von der Elastizität der Kautschukmasse. Sie ist um so größer, je größer der Druck, die Hohlräume und die Elastizität und je kleiner der Abstand der Räume voneinander, je dünner und nachgiebiger also die trennende Schicht. Diese spielt hier die wichtigste Rolle. Sie ist der Sitz der dem äußern Druck und der Verschiebung entgegenwirkenden Spannkraft, welche mit der Menge des verschobenen Wassers wächst. Die Eigenschaft des Modells, unter einem bestimmten äußern Druck die Verschiebung einer größern oder kleinern Wassermenge zuzulassen, bis die innere Spannung dem äußern Druck gleich ist, diese Eigenschaft nennt man seine *Kapazität.* Bezeichnet man z. B. das kg. als Einheit des Drucks und den cm^3 als Einheit der Wassermenge, so besitzt dasjenige Modell die Einheit der Kapazität, bei welchem unter dem Druck von 1 kg. gerade 1 cm^3 Wasser verschoben wird.

Wenn der Druck aufhört und der Kolben freigelassen wird, so kehrt die gespannte, verschobene Kautschukmasse wieder in ihre natürliche Gleichgewichtslage zurück; sie drückt dabei die Wassermenge, welche durch den Kolben verschoben worden war, in entgegengesetzter Richtung durch das Rohr und die Pumpe zurück und zwar erfolgt dieses Zurückfließen, die Entladung, um so schneller, je kürzer und weiter das Rohr, d. h. je kleiner der Reibungswiderstand ist. Diese Anordnung stellt ein ziemlich vollkommenes Modell dar zur Erklärung der elektrischen Vorgänge zwischen den zwei Konduktoren der Elektrisiermaschine. Es ist das Modell eines Kondensators.

Trotzdem haben wir nicht geringe Mühe, uns die Uebereinstimmung im Verhalten des Wassers und der Elektrizität gegenüber dem sie umgebenden Mittel, dort Kautschuk, hier Luft, klarzulegen. Es ist nicht leicht, sich vorzustellen, daß die Luft, in welcher materielle Körper sich fast ohne Reibung frei bewegen können, zur Elektrizität ein solch eigentümliches Verhalten zeigen soll. Die Schwierigkeit liegt darin, daß wir nicht gewohnt sind, die Luft in ihrem erweiterten Begriff als elektrischen Isolator und ihre Moleküle und Atome als Träger von unfreien, sozusagen angebundenen elektrischen Korpuskeln zu betrachten. An diese Vorstellungen gewöhnt man sich nur langsam, durch Erfahrung. Doch die Einsicht wird uns schon erleichtert, wenn wir uns die Konduktoren statt von Luft, von einem festen Isolator, etwa Glas, Pech oder Harz, umgeben denken. Sodann müssen wir uns die offenkundigen Unterschiede zwischen dem System der elektrisch geladenen Konduktoren und dem zur Veranschaulichung benützten Modell aufs genaueste vergegenwärtigen, um ja keinen Zweifel bestehen zu lassen und völlige Klarheit zu schaffen. Die mit Wasser

ausgefüllten Hohlräume verändern ihre Form und in der Kautschukmasse verschieben sich die materiellen Teilchen selber. An den Konduktoren nehmen wir dagegen nicht die geringste Formveränderung wahr. Sie können hohl sein oder massiv, dick- oder dünnwandig, so hat das keinen Einfluß auf das elektrische Verhalten. Auch im Isolator selber, in der Luft, im Harz, Porzellan, Glimmer oder Glas u. s. w. ist keine materielle Veränderung nachweisbar und für die inneren rein elektrischen Vorgänge gibt es nur theoretische Erklärungen. Wir müssen uns immer bewußt bleiben, daß derartige Vergleiche niemals restlos übereinstimmen können, sondern daß die Uebereinstimmung immer nur bis zu einem gewissen Punkte geht. Was wir veranschaulichen wollten, ist das elektrische Verhalten und die Bedeutung des Luftraumes, oder allgemein, des Isolators in der Umgebung von elektrisierten Konduktoren, und das ist uns in befriedigender Weise gelungen.

Eine wichtige Tatsache muß noch hervorgehoben werden. Wenn mit Hilfe der Elektrisiermaschine eine bestimmte Menge Elektrizität von einem Konduktor zum andern befördert worden ist, so darf man daraus also nach dem gesagten nicht etwa schließen, daß in dem einen Konduktor eine Verdichtung, im andern eine Verdünnung der Elektrizität stattgefunden habe. Denn genau dieselbe Menge Elektrizität hat im Luftraum zwischen den beiden Kugeln eine senkrecht zu den Kraftlinien gedachte Fläche passiert. Wir haben es also hier und in jedem Falle einer statischen Ladung mit einem vollständig geschlossenen Stromkreis zu tun, was übrigens auch bei unserm Modell der Fall ist, wo das Volumen der Kautschukmasse, welche in der Ebene A—B von links nach rechts verschoben wurde, gleich ist dem Volumen des Wassers, welches durch die Pumpe von rechts nach links befördert worden ist.

Unser Modell lehrt uns ohne weiteres die Abhängigkeit der verschobenen Elektrizitätsmenge vom Druck, von den Dimensionen der Kugeln, ihrem gegenseitigen Abstand und der Natur des Isolators oder des sogenannten *Dielektrikums* erkennen. Wir wissen jetzt, daß diese Elektrizitätsmenge umso größer ist, je größer einerseits der äußere Druck (die Spannung oder die elektromotorische Kraft), anderseits je größer die Dimensionen der Konduktoren und die Elastizität des Dielektrikums und je kleiner der Abstand der Konduktoren, d. h. je dünner das Dielektrikum.

Soll durch einen bestimmten Druck eine möglichst große Elektrizitätsmenge verschoben, d. h. in einen Spannungszustand versetzt werden, so müssen wir die Oberfläche der Konduktoren vergrößern und ihren gegenseitigen Abstand verkleinern; statt Kugeln verwenden wir flache, parallel zu einander gestellte Platten und wir wählen ein möglichst elastisches Dielektrikum. Wir sorgen also dafür, daß die Elektrizität sich zu beiden Seiten der trennenden Schicht möglichst *ausbreiten* kann. Eine solche Vorrichtung nennen wir dann einen *Kondensator*. Darin liegt offenbar ein Widerspruch, der eine Erklärung fordert; umsomehr als wir bereits angedeutet haben, daß es einen Apparat zur Verdichtung der Elektrizität nicht geben könne.

Die Bezeichnung *„Kondensator“* rührt von dem folgenden Experiment her. Wir entfernen die beiden Konduktoren (Kugeln) der Elektrisiermaschine möglichst weit von einander und verbinden den einen derselben durch einen Draht mit der Erde, den andern mit einer gut isolierten Metallplatte, sowie mit einem Elektroskop als Spannungs- oder Druckanzeiger. (Bekanntlich hat man es bei elektrostatischen Experimenten mit sehr hohen Spannungen, aber geringen Elektrizitätsmengen zu tun und die Spannungen können in einfacher Weise mit Hilfe eines Elektroskops oder bloß eines Pendels aus Hollundermark nachgewiesen werden).

Dreht man nun die Maschine mit gleichmäßiger Geschwindigkeit, so wird das elektrische Gleichgewicht nicht nur zwischen den Konduktoren der Maschine gestört, sondern auch zwischen den mit ihnen verbundenen Leitern, der Erde einerseits und der Platte und dem Elektroskop anderseits, sowie in dem diese trennenden Luftraum, in welchem ein elektrisches Spannungsfeld aufgebaut wird. Die Blättchen des Elektroskops gehen langsam auseinander, bis sie schließlich in einem bestimmten Winkel zu einander verharren. Die Spannung der isolierenden Luftschicht hält nun dem Druck der Maschine das Gleichgewicht. Nähern wir jetzt der Platte bei fortgesetzter Drehung der Maschine rasch bis auf einige Centimeter eine zweite, welche mit der Erde verbunden ist, so fallen die Blättchen des Elektroskops plötzlich fast ganz zusammen und gehen dann langsam wieder auseinander, bis sie den früheren Ausschlag erreicht haben. Wie ist dieses Zusammenfallen zu erklären? Durch die Annäherung der zweiten Platte wurde die Dicke der Luftschicht, welche die mit dem Konduktor verbundene Platte von der Erde trennte, das Dielektrikum, und mithin auch ihre Spannkraft bedeutend verringert. Zwischen den Platten fand eine starke dielektrische Verschiebung, gewissermaßen eine Ausbuchtung, statt. Vom Elektroskop und vom Konduktor her strömte die Elektrizität nach der Platte als einem Punkte geschwächter dielektrischer Gegenspannung; die Blättchen des Elektroskops fielen zusammen und gingen nur langsam wieder auseinander, weil infolge des äußerst schwachen Zuflusses der Elektrizität von der Maschine her die ursprüngliche Spannung nur langsam wieder hergestellt wird. Das ganze System bekam, bildlich gesprochen, ein elastisches Loch. Sein elektrischer Rauminhalt hatte zugenommen und infolgedessen verringerte sich die Spannung.

Es ist nun ohne weiteres anzunehmen, daß eine entgegengesetzte Wirkung eintreten muß, wenn der Abstand der Platte, die trennende Schicht des Dielektrikums, vergrößert wird. Der folgende Versuch bestätigt diese Annahme.

Die beiden Platten sind nahe aneinander gerückt; die Maschine wird gedreht; das Elektroskop zeigt langsam steigende Spannung an. Sobald der stationäre Zustand erreicht ist, wird die Verbindung zwischen dem Konduktor der Maschine und der Platte unterbrochen, was bei sorgfältigem Vorgehen das Elektroskop nicht beeinflussen soll. Wird nun die mit der Erde verbundene Platte langsam entfernt, so zeigt das Elektroskop ein Zunehmen der Spannung an, die einen höhern Wert erreicht, als die Maschine zu liefern vermochte. *Diesem Vorgang verdankt der Kondensator seinen Namen.* Durch das Entfernen der geerdeten Platte wird nach und nach zwischen die geladene Platte und die Erde eine dickere Trennschicht eingeschaltet, deren zunehmende Gegenspannung die ursprüngliche dielektrische Ausbauchung zurückdrängt, die Kapazität verringert und daher die Spannung des geladenen Systems gegen Erde erhöht. Eine ähnliche Wirkung wird auch erzielt, wenn ein elektrisch geladenes Stanniolblatt auf eine isolierte Walze aufgerollt wird. Dieses Experiment hat, wie bereits erwähnt, keine praktische Bedeutung erlangt.

Bei der Mehrzahl der technischen Kondensatoren befinden sich die beiden Konduktoren (Belegungen) in unveränderlicher Lage zu einander und wo dies nicht der Fall ist, wie z. B. bei den Drehplattenkondensatoren der Radiotechnik, hat die Lageveränderung einen andern Zweck.

Die Abhängigkeit der einem Kondensator aufgepressten Elektrizitätsmenge vom äußern Druck und von der Beschaffenheit des Kondensators ist eine durchaus gesetzmäßige.

Durch die Beschaffenheit des Kondensators, (Dimensionen und Abstand der Konduktoren und Natur des Dielektrikums) wird, wie wir gesehen haben, sein Aufnahmevermögen, seine *Kapazität* bestimmt. Je elastischer, nachgiebiger das Dielektrikum, desto größer ist unter sonst gleichen Verhältnissen die Kapazität. Als Maß für die Elastizität des Dielektrikums gilt bekanntlich die *Dielektrizitätskonstante,* welche auf die dielektrische Elastizität der Luft als Einheit

bezogen wird und z. B. (nach Strecker) für Ebonit 2—3, für Glimmer 4 - 8, für Paraffin 2,0—2,3, für Porzellan 4,4 beträgt.

Ein Kondensator, dessen Konduktoren durch Glimmer (Mica) voneinander isoliert sind, hat also eine 4—8 mal größere Kapazität, als ein sonst gleich beschaffener mit Luftisolation.

(Fortsetzung folgt.)

Construction des lignes aériennes

De la stabilité des supports dits triangulaires et quadrangulaires.

Par A. Pillonel, Adjoint du Ier arr.

Lorsque une bifurcation aérienne comporte un assez grand nombre de fils, la dislocation des artères s'opère avantageusement au moyen de supports dits triangulaires ou quadrangulaires. On donne le nom de support triangulaire à un assemblage de trois poteaux occupant les sommets d'un triangle équilatéral. Le support quadrangulaire comprend quatre poteaux formant généralement un carré.

Nous nous proposons ici de déterminer la stabilité de ces supports multiples d'un emploi assez courant et de les comparer quant à leur résistance.

I. Support triangulaire.

Trois poteaux disposés au sommet d'un triangle, à condition que leur assemblage et leur fondation soient assez solides, forment un système rigide, dont l'axe de rotation, en flexion plane, passe par le centre de gravité du triangle. Ce centre de gravité se trouve être le centre du cercle inscrit ou du cercle circonscrit au triangle (voir fig. 1). Il est au 1/3 de la médiane A D à partir de B C, la base. Le moment d'inertie [1]) du système est par rapport à l'axe x x :

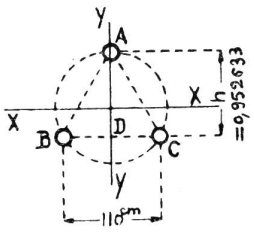

fig. 1

$$I = 3\,I_g + S\left(\frac{2\,h}{3}\right)^2 + 2\,S\left(\frac{1\,h}{3}\right)^2$$

en appelant

I_g le moment d'inertie d'un poteau
S la surface de la section d'un poteau
h la hauteur du triangle équilatéral
D la longueur d'un côté du triangle.

La valeur I_g est négligeable par rapport au moment d'inertie total et il vient alors:

$$I_{xx} = S\left(\frac{2\,h}{3}\right)^2 + 2\,S\left(\frac{1\,h}{3}\right)^2 = \frac{2\,h^2\,S}{3}. \qquad (1)$$

Par rapport à l'axe y y, le moment d'inertie vaut

$$I_{yy} = 2\,S\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{S\,D^2}{2} \qquad (2)$$

Dans le triangle équilatéral, on a

$$h = \sqrt{\frac{3}{4}D^2}$$

et alors

$$\frac{2\,h^2\,S}{3} = \frac{S\,D^2}{2} \qquad (3)$$

[1]) On appelle moment d'inertie le produit de chaque élément de surface de la section des poteaux par le carré de la distance de cet élément à l'axe de rotation.

L'équation (3) montre, en la comparant à (1) et (2) que

$$I_{xx} = I_{yy}$$

On sait que le module de résistance s'obtient en divisant le moment d'inertie par la distance de la fibre la plus éloignée de l'axe de rotation à cet axe. En désignant le module de résistance par W et la distance de la fibre extrême par v on a

$$W = \frac{I}{v}$$

Le module de résistance du support triangulaire par rapport à l'axe x x vaut donc

$$W_{xx} = \frac{I_{xx}}{v} = \frac{\frac{2}{3}\,h^2\,S}{2/3\,h} = S\,h^* \qquad (4)$$

Quant au module de résistance par rapport à l'axe yy il a pour valeur

$$W_{yy} = \frac{I_{yy}}{v} = \frac{\frac{S\,D^2}{2}}{\frac{D}{2}} = S\,D \qquad (5)$$

Comme l'on doit disposer le triangle de manière que les trois faces se prêtent aux trois bifurcations, le support triangulaire travaillera autour de l'axe x x qui donne le module de résistance W_{xx} *minimum,* h étant plus faible que D.

Un poteau de 8 mètres de longueur a, à l'encastrement, une section de 226,98 cm². Le module de résistance du poteau triple vaut donc

$$W_{xx} = 226{,}98 \times 95{,}263 = 21{,}623 \text{ cm}^3$$

et sa résistance, en admettant une charge pratique k de 120 kg par centimètre carré:

$$W_{xx}\,k = 21\,623 \times 120 = 2\,594\,760 \text{ kg/cm.}$$

Cette résistance est 45 fois environ celle du poteau simple.

B. Support quadrangulaire.

Le moment d'inertie d'un support quadrangulaire peut être déterminé de la même façon que pour l'appui triangulaire. On a dès lors (fig. 2):

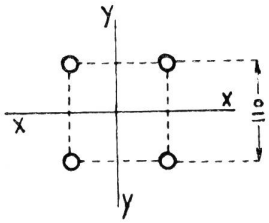

fig. 2

$$I = 4\,S\left(\frac{D}{2}\right)^2 = S\,D^2 \quad \text{et}$$

$$\frac{I}{v} = W = 2\,S\,D \qquad (6)$$

Il va de soi que le moment d'inertie [et par conséquent le module de résistance W] est le même pour les deux axes x x et y y, puisque la disposition des poteaux par rapport aux deux axes est absolument symétrique.

La comparaison des formules (5) et (6) montre que le *support quadrangulaire a une résistance double de celle de l'appui triangulaire* et qu'elle atteint environ 90 fois celle d'un poteau simple.

Avec une résistance aussi considérable, il semble que l'adjonction de contrefiches ou de haubans à ces supports multiples soit parfaitement superflue. Or la pratique enseigne que les appuis triangulaires ou rectangulaires avec trois bifurcations ploient quand même, lorsqu'ils ne sont pas soutenus par des jambes de force ou des ancrages. Cela tient au fait, premièrement, que l'assemblage de ces poteaux est insuffisant et incomplet et, deuxièmement, que l'encastrement ordinaire avec deux couronnes de pierres n'a pas la résistance nécessaire pour suffire à l'énorme moment fléchissant que provoque la traction unilatérale d'un grand nombre de fils.

*) *Remarque.* En réalité la distance de la fibre la plus éloignée vaut 2/3 $h + r$, r désignant le rayon de la section du poteau; nous pouvons négliger r, comme nous avons négligé I_g.