Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 50 (1959)
Heft: 19

Artikel: Aus dem Leben und Werk von Nikola Tesla
Autor: Landolt, M.K.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057820

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: 08.08.2025

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Aus dem Leben und Werk von Nikola Tesla

Von *M. K. Landolt*, Zürich

92 Tesla

Einleitung — Jugendjahre — Die Erfindung der Energieübertragung mit Mehrphasenstrom — Die Weiterentwicklung des Mehrphasensystems und die Frage der Priorität — Die Erfindung des Tesla-Transformators — Das Problem der drahtlosen Energieübertragung — Spätere Arbeiten — Ausklang.

Introduction — Années de jeunesse — L'invention du transport de l'énergie électrique en courant polyphasé — Le développement du système polyphasé et la question de la priorité — L'invention du transformateur Tesla — Le problème de la transmission de l'énergie sans fil — Travaux ultérieurs — Considérations finales.

1. Einleitung

Das Comité d'Etudes 24 der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) hat — einer Empfehlung seines Expertenkomitees folgend — im September 1954 vorgeschlagen, der Einheit der magnetischen Induktion in dem auf den Basis-Einheiten Meter, Kilogramm, Sekunde und Ampère aufgebauten Maßsystem den Namen Tesla zu geben [1] [1]). Das Tesla ist gleich dem Weber pro Quadratmeter. Im Jahr 1956 hat das Comité International des Poids et Mesures (CIPM) die Einheit Tesla in seine eigenen Empfehlungen aufgenommen und T als Buchstabensymbol festgelegt [2]. Dies ist ein international verbindlicher Beschluss, da das CIPM von der Conférence Générale des Poids et Mesures dazu die nötige Vollmacht erhalten hat.

Die früheren Internationalen Elektrotechnischen Kongresse und deren Nachfolgerin, die CEI, haben schon mehrfach hervorragende Männer, die Grundlegendes für die Elektrotechnik oder für die Mechanik geleistet haben, dadurch geehrt, dass sie deren Namen zur Benennung von Einheiten verwendeten. Diese Ehrung ist bisher folgenden Männern widerfahren: *André-Marie Ampère, Charles-Auguste Coulomb, Michael Faraday, Karl Friedrich Gauss, William Gilbert, Joseph Henry, Heinrich Hertz, James Prescott Joule, James Clerk Maxwell, Isaac Newton, Georg Simon Ohm, Hans Christian Oersted, Werner von Siemens, Alessandro Volta, James Watt* und *Heinrich Weber*.

Mancher wird sich fragen, warum wohl der Name Tesla dieser Ehrenliste beigefügt worden ist, denn vielen ist dieser Name nur durch den Tesla-Transformator bekannt. Nachstehend soll gezeigt werden, dass man einen Würdigen ehrt.

Über Tesla und sein Werk besteht eine umfangreiche Literatur. Besonders aufschlussreich sind vier Bücher, nämlich eine wesentlich auf die technischen Fragen eintretende Lebensbeschreibung von *Boksan* [3], ein romanhaftes, packendes Lebensbild von *O'Neill* [4], ein anlässlich des achtzigsten Geburtstagsvon vielen Verfassern geschriebenes Gedenkbuch [5] und eine Sammlung ausgewählter Vorträge, Patente und Artikel Teslas, die anlässlich der Hundert-Jahr-Feier der Geburt Nikola Teslas erschienen ist [6].

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

2. Jugendjahre

Am 10. Juli 1856 wurde Nikola Tesla geboren, und zwar im Dorf Smiljan, 108 km südöstlich von Rijeka (Fiume) und 17 km von der Küste des adriatischen Meers entfernt. Smiljan gehörte damals zum Komitat Lika und damit bis 1918 zu Kroatien, das unter der Herrschaft des Kaisers von Österreich und Königs von Ungarn stand.

Der Vater Nikola Teslas, orthodoxer Geistlicher, war serbischer Abkunft. Er wird als kultivierter Mann und gewandter Prediger geschildert. Seine Mutter, eine sehr geschickte, wenn auch nicht gebildete Frau mit erfinderischer Phantasie, war aus der alten serbischen Familie der *Mandić* hervorgegangen. Die Familie hatte fünf Kinder: Milka, Dane, Angelina, Nikola und Marica. Der ältere Sohn Dane starb im Alter von zwölf Jahren, als Nikola erst fünf Jahre zählte.

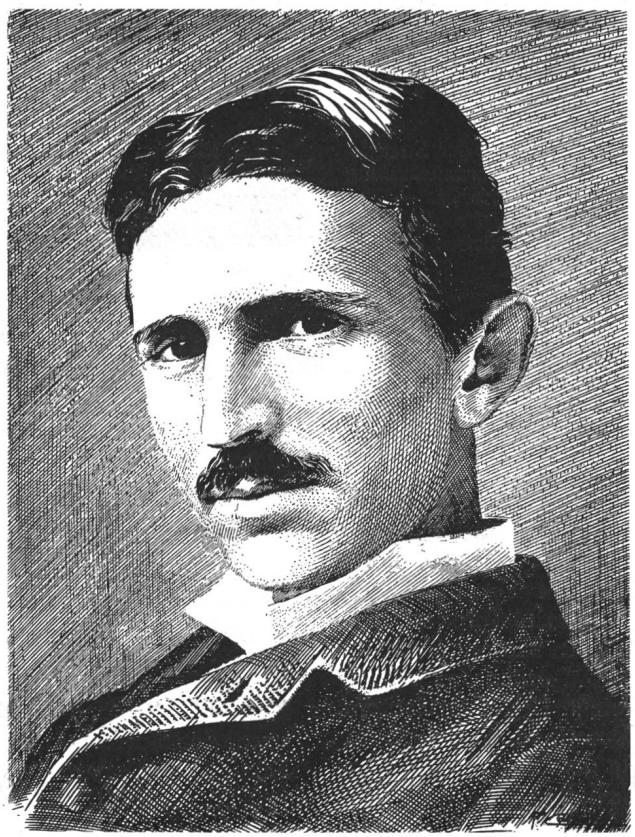
Der junge Nikola besuchte die Volksschule zuerst in Smiljan und später in dem nahegelegenen Städtchen Gospić, wohin die Familie bald übersiedelte. In jungen Jahren lebte Tesla ein intensives träumerisches Leben. Seine starke Phantasie liess ihn seine Bilder materialisiert vor sich sehen. Am Realgymnasium (Sekundarschule) hatte er grosses Interesse für Mathematik und Naturwissenschaften, dagegen scheint ihm das Freihandzeichnen Mühe gemacht zu haben. Für technische Probleme zeigte er schon als Knabe eine besondere Begabung und er las mit grösstem Eifer. Sein gutes Gedächtnis machte es ihm leicht, Deutsch, Französisch und Italienisch zu lernen. Überdies war er geschickt in der Bearbeitung von Holz und Metallen.

Nach Beendigung der ersten vier Klassen des Realgymnasiums wurde Tesla sehr krank, so dass die Ärzte jede Hoffnung aufgaben. Als man ihm aber zu lesen erlaubte, siegte der Wille Teslas und er wurde wieder gesund. Im Jahr 1872 kam er dann zu einer Tante nach Karlovac (Karlstadt), um dort die Oberrealschule zu besuchen. Er tat dies mit grösstem Erfolg und kehrte nach Hause zurück mit dem Wunsch, Ingenieur zu werden. Mit Rücksicht auf seine schwache Gesundheit schreckten aber die Eltern vor einem Hochschulstudium zurück. Überdies stand nun ein dreijähriger Dienst in der Armee bevor. Da warf ihn die Cholera für lange Zeit aufs Krankenbett. Tesla verlor den Lebensmut. Erst als ihm sein Vater versprach, dass er Ingenieur werden dürfe, kehrte der Lebenswille zurück und der Kranke genas.

Es scheint, dass Tesla für ein Jahr in den Bergen verschwand, um dem Dienst in der österreichisch-ungarischen Armee zu entgehen. In der Zwischenzeit gelang es dem Vater, mit Hilfe von in der Armee einflussreichen Verwandten, den Sohn vom Militärdienst frei zu bekommen.

Im Jahre 1875 konnte Tesla sein Studium an der Technischen und Montanistischen Hochschule in Graz-Leoben beginnen. Er stürzte sich mit Feuereifer in die Arbeit. Er selbst berichtet, dass er im ersten Jahr täglich, auch an Sonn- und Feiertagen, von 3 Uhr früh bis 11 Uhr abends gearbeitet habe. Er versäumte keinen einzigen Vortrag und bestand alle Prüfungen mit Auszeichnung. Im zweiten Jahr scheint er weniger fleissig gewesen zu sein. Er ging mit seinen Freunden oft aus und spielte leidenschaftlich Billard und Schach. Ebenso leidenschaftlich besuchte er aber auch die Bibliothek und das physikalische Laboratorium. Dort führte Prof. *Pöschl* einmal eine Grammesche Dynamomaschine aus Paris vor. Die Kommutation war offenbar reichlich schlecht. Der Student Tesla meinte, dass es möglich sein müsste, ohne Kommutator und Bürsten einen Motor herzustellen. Darauf soll Prof. *Pöschl* erwidert haben: «Herr Tesla wird vielleicht grosse Dinge verrichten, das aber wird ihm niemals gelingen. Das hiesse, eine Kraft, die in einer Richtung wirkt, ähnlich der Gravitation, in eine rotierende Kraft verwandeln zu wollen. Das wäre das Perpetuum mobile, also eine unmögliche Idee.»

Nach dem dritten Jahr, noch bevor er sein Studium beenden konnte, gingen Tesla die finanziellen Mittel aus. Er nahm für ein Jahr eine Anstellung als Hilfsingenieur in Maribor an. Während des Sommers 1880 studierte er dann an der Universität Prag und beendigte damit seine Studienjahre.



Union Internationale des Télécommunications, Genf

3. Die Erfindung der Energieübertragung mit Mehrphasenstrom

Im Jahr 1881 begann Tesla seine berufliche Laufbahn in Budapest, und zwar zuerst als Assistent der königlichen Telegraphen-Ingenieur-Abteilung. Hier machte Tesla mit der Schaffung eines Lautsprechers seine erste Erfindung. Daneben beschäftigte er sich mit dem Problem des kollektorlosen Motors. Dieser war für die damalige Zeit ein utopischer Gedanke. Wohl hatten Erfinder wie *Siemens, Edison* und *Hefner-Alteneck* die Maschinen für die Energieübertragung mit Gleichstrom geschaffen, aber ein brauchbarer Wechselstrommotor fehlte.

Während er mit einem Freund spazierte, tauchte Tesla im Februar des Jahres 1882 plötzlich die Idee auf, mit mehrphasigen Wechselströmen ein Drehfeld zu erzeugen und dieses in einem Motor zu verwenden.

Im Jahre 1883 trat er in Paris in die Compagnie Continentale Edison ein in der Hoffnung, dort seine Ideen verwirklichen zu können. Während eines vorübrgehenden Aufenthalts in Strassburg baute er ein erstes Modell seines Motors. Er konnte jedoch keine Interessenten für seine Pläne finden und er wandte sich mit guten Empfehlungen im Jahr 1884 nach den Vereinigten Staaten von Amerika.

In New York machte ihn *Edison* zu seinem Mitarbeiter. Aber auch der grosse Erfinder und Geschäftsmann Edison wollte von Teslas neuem Wechselstrom-Motor nichts wissen, so dass sich die beiden Männer schon nach kaum einem Jahr wieder trennten.

Einige Finanzleute gründeten mit Tesla zusammen die Tesla Electric Light Company. Aber auch hier interessierte nur der Gleichstrom, besonders für Beleuchtungszwecke. Tesla machte mehrere einschlägige Erfindungen. Die Fabrikation von Bogenlampen für Strassenbeleuchtung begann, aber Tesla wurde aus der Gesellschaft hinausmanövriert. Er war nun stellenlos und verdiente seinen Lebensunterhalt vom Frühjahr 1886 an als Taglöhner. Es herrschte damals Arbeitslosigkeit, so dass er Mühe hatte, sich mit dem Ausheben von Gräben und mit anderer harter Arbeit durchzubringen. Dabei kam er aber in Verbindung mit *A. K. Brown* von

der Western Union Telegraph Company. Dieser gründete mit einem Freund zusammen die Tesla Electric Company und richtete Tesla auf April 1887 ein Laboratorium ein in New York. Nun konnte Tesla seine eigenen Wege gehen und seine eigenen Ideen verwirklichen.

Er schuf nun in kurzer Zeit die Energieübertragung mit Mehrphasen-Wechselstrom und baute die hiezu nötigen Generatoren und Motoren. Beginnend mit dem 12. Oktober 1887 reichte er in den USA eine Reihe von einschlägigen Patentanmeldungen ein [2]). Nachstehend werden einige der erteilten Patente kurz beschrieben, und zwar in der Reihenfolge der Anmeldung.

Patent Nr. 381,968 «Electro-Magnetic Motor», angemeldet am 12. Oktober 1887, patentiert am 1. Mai 1888.

Patentiert ist im wesentlichen die Kombination eines Zwei- oder Mehrphasengenerators mit einem ebensolchen Motor, wie sie in Fig. 2 dargestellt ist. Beim Motor trägt normalerweise der Anker keine Wicklung, und er weist an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen gegenüber der Kreisform Ausnehmungen auf. Es handelt sich demnach um einen Synchron-Reaktionsmotor oder Reluktanzmotor.

Die in Fig. 9 und Fig. 11 (von Fig. 1) und an anderen Stellen der Patentschrift gezeichnete Zweiphasen-Ringwicklung mutet heute altertümlich an; sie gibt aber eine günstig geformte Felderregerkurve (magnetische Spannung in Funktion des Bohrungsumfangs).

Patent Nr. 382,280 «Electrical Transmission of Power», angemeldet am 12. Oktober 1887, patentiert am 1. Mai 1888.

Dieses Patent wurde während des Anmeldeverfahrens von Patent Nr. 381,968 abgetrennt; es betrifft aber denselben Gegenstand, der nun aber als Methode der elektrischen Leistungsübertragung behandelt ist.

Patent Nr. 381,969 «Electro-Magnetic Motor», angemeldet am 30. November 1887, patentiert am 1. Mai 1888.

Hier kommt für den Motor die Erregerwicklung des Ankers als neues Element hinzu. In der Beschreibung (Seite 2, Zeilen 23...37) wird dargelegt, dass zum Anlassen des Motors dessen Erregerwicklung nur wenig Strom führen darf oder unterbrochen werden muss, und dass man bei eingeschalteter Erregerwicklung den Generator und den Motor zusammen synchron hochfahren kann.

Patent Nr. 382,281 «Electrical Transmission of Power», angemeldet am 30. November 1887, patentiert am 1. Mai 1888.

Dieses Patent wurde während des Anmeldeverfahrens von Patent Nr. 381,969 abgetrennt; es betrifft denselben Gegenstand, der nun aber als Methode der elektrischen Leistungsübertragung behandelt ist.

Patent Nr. 382,279 «Electro-Magnetic Motor», angemeldet am 30. November 1887, patentiert am 1. Mai 1888.

Patentiert wird, wie Fig. 3 deutlich zeigt, ein zweiphasig gespeister Motor, dessen Anker eine zweiphasige Wicklung trägt. Sie ist in sich kurz geschlossen.

In der Beschreibung wird dargelegt (Seite 2, Zeilen 107...115), dass im Leerlauf die Drehzahl fast dem Synchronismus entspreche und der Strom klein sei, und dass bei Belastung die Drehzahl ab-, der Strom und das Drehmoment dagegen zunehmen.

Patent Nr. 381,970 «System of Electrical Distribution», angemeldet am 23. Dezember 1887, patentiert am 1. Mai 1888.

Im wesentlichen wird ein Zwei- oder Mehrphasen-Transformator patentiert. Dieser besteht aus einem ringförmigen Eisenkörper, auf den an diametral gegenüberliegenden Stellen die zwei Hälften der Primärwicklung einer Phase und darüberliegend die zugehörigen Hälften der Sekundärwicklung aufgebracht sind.

Die Folge dieser überraschenden Anordnung ist, dass der Induktionsfluss im Eisenkörper an verschiedenen Stellen des Umfangs, entsprechend der unterschiedlichen Phasenlage der Spannungen, nicht gleiche Phasenlage haben kann. Es tritt deshalb ein Differenzfluss auf, der sich durch die Luft schliesst und relativ hohe Leerlaufströme bedingt.

Diese Transformatoren sind in der Patentschrift als Umformer (Converter) bezeichnet.

Patent Nr. 382,282 «Method of Converting and Distributing Electric Currents», angemeldet am 23. Dezember 1887, patentiert am 1. Mai 1888.

Dieses Patent wurde während des Anmeldeverfahrens von Patent Nr. 381,970 abgetrennt; es betrifft denselben Gegenstand, der nun aber als Methotde der elekrischen Umformung und Verteilung behandelt ist.

Patent Nr. 390,413 «System of Electrical Distrition», angemeldet am 10. April 1888, patentiert am 2. Oktober 1888.

Hier wird die gemeinsame Rückleitung patentiert. In der Beschreibung (Seite 1, Zeilen 32 und 33) ist ausdrücklich von zwei und mehr Stromkreisen die Rede, die eine einzige Rückleitung haben können; es liegt also Sternschaltung vor. Später werden als Beispiele (Seite 2, Zeilen 53...61) nochmals Maschinen mit drei Stromkreisen erwähnt. Tesla glaubt aber gefunden zu haben (Seite 2, Zeilen 68 und 69), dass Maschinen mit drei und mehr Stromkreisen weniger wirksam seien als Zweiphasen-Maschinen.

Patent Nr. 390,414 «Dynamo-Electric Maschine», angemeldet am 23. April 1888, patentiert am 2. Oktober 1888.

Hier wird im wesentlichen patentiert, dass eine Gleichstrommaschine durch die Ausrüstung mit passend gewählten Anschlüssen, die zu Schleifringen führen, als Wechselstrom-Generatoren verwendet werden können. Am Beispiel offener Ankerwicklungen wird eine dreiphasige Übertragung erwähnt (Seite 2, Zeilen 75...92). Es wird auch erwähnt, dass über auf dem Kommutator aufliegende Bürsten Gleichstrom für die Erregung oder für andere Zwecke abgenommen werden kann (Seite 2, Zeilen 36...44, 92...96).

Am 16. Mai 1888 hielt Tesla vor dem American Institut of Electrical Engineers einen Vortrag über sein neues System der Energieübertragung mit mehrphasigem Wechselstrom [6a; 8; 9]. Damit erhielt die Fachwelt zum ersten Mal in grösserem Umfang Kenntnis von der weitreichenden Neuschöpfung Teslas.

An der dem Vortrag folgenden Diskussion beteiligte sich Prof. *Anthony*, der zwei Motoren von Tesla ausgemessen hatte. Er berichtete, dass der eine Motor ungefähr 0,5 PS gegeben habe bei einem Wirkungsgrad von etwas über 50%, wogegen der andere Motor ungefähr 1,25 PS gegeben habe bei einem Wirkungsgrad von wenig über 60% [6b].

Für das Problem des kommutatorlosen Einphasenmotors hat Tesla mehrere Lösungen gefunden und in den Jahren 1888 bis 1891 zum Patent angemeldet. Meistens geht es darum, zur Speisung von Zweiphasen-Motoren einen Wechselstrom in zwei phasenverschobene Komponenten zu zerlegen. Mit Hilfe eines Transformators, von Widerständen und Drosselspulen ist diese Zerlegung Gegenstand der Patente Nr. 511,559 und 511,560 (angemeldet am 8. Dezember 1888). Als Induktionsmotoren angelassene und synchron weiter laufende Motoren enthalten die Patente Nr. 401,520 (angemeldet am 18. Dezember 1889) und 418,248 (angemeldet am 20. Mai 1889). Das Patent Nr. 459,772 (angemeldet am 20. Mai 1889) betrifft die Kombination eines Einphasen-Synchronmotors mit einem als Anwurfsmotor dienenden Einphasen-Induktionsmotor.

George Westinghouse, der Erfinder der nach ihm benannten Luftdruckbremse von Eisenbahnfahrzeugen und Inhaber der damaligen Westinghouse Electric and Manufacturing Company in Pittsburgh,

[2]) 29 solcher Patente wurden 1893 von der Westinghouse Electric and Manufacturing Company gesamthaft in Buchform herausgegeben [7]. Abgesehen von Patent Nr. 382,282 finden sie sich auch in der zur Jahrhundertfeier herausgegebenen Sammlung [6].

(No Model.) 4 Sheets—Sheet 2.

N. TESLA

ELECTRO MAGNETIC MOTOR.

No. 381,968. Patented May 1, 1888.

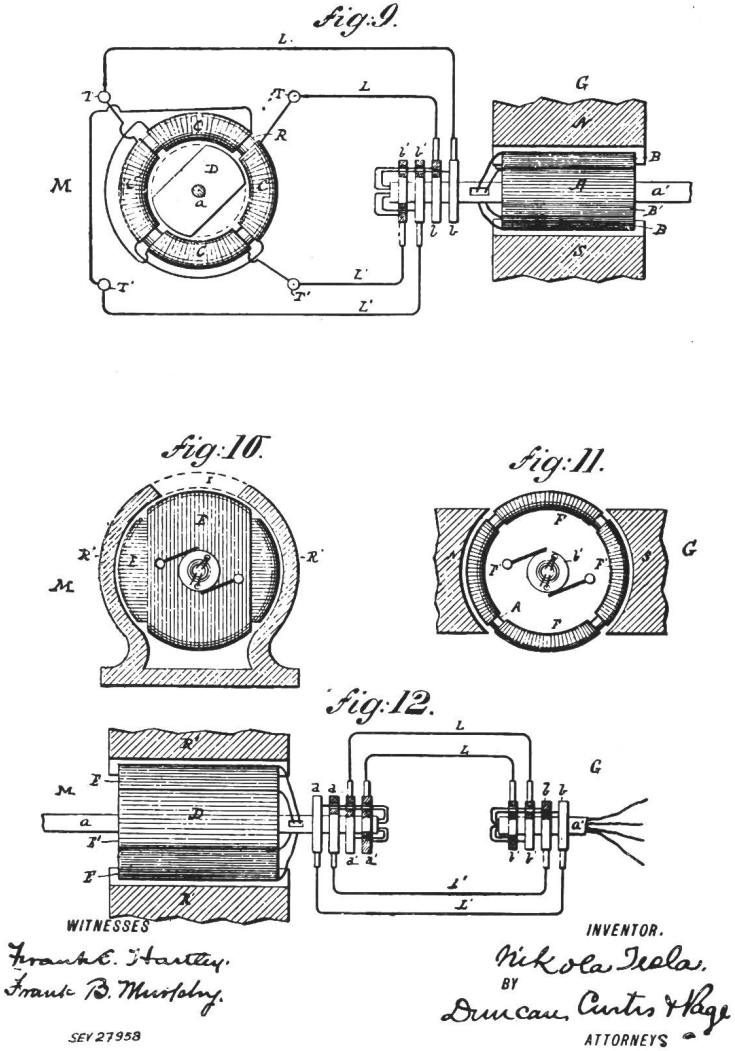


Fig. 2

Beiblatt 2 zum USA-Patent Nr. 381,968

Die darin enthaltene Fig. 9 zeigt rechts den Generator, links den Motor. Die Fig. 11 stellt eine Seitenansicht des Generators dar. Fig. 10 zeigt eine Variante des Motors; der gespeiste Teil rotiert, der Anker ruht. Fig. 12 zeigt diese Variante von oben gesehen

(No Model.) 2 Sheets—Sheet 1.

N. TESLA.

ELECTRO MAGNETIC MOTOR.

No. 382,279. Patented May 1, 1888.

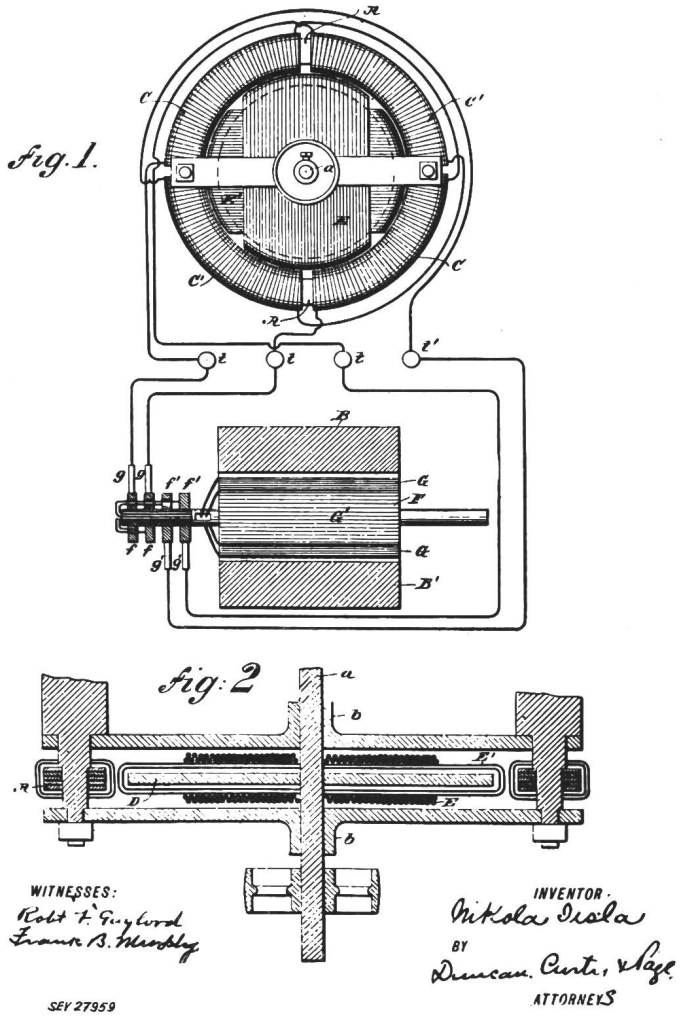


Fig. 3

Beiblatt 1 zum USA-Patent Nr. 382,279

Die darin enthaltene Fig. 1 zeigt im oberen Teil den Anker, der eine zweiphasige, in sich geschlossene Wicklung trägt. Fig. 2 zeigt einen horizontal gelegten Schnitt

erkannte die ausserordentliche geschäftliche Bedeutung der Patente Teslas. Er erwarb sie für den Betrag von einer Million Dollars und mit der Verpflichtung, während 15 Jahren für jede installierte Pferdestärke einen Dollar zu bezahlen. So ist Tesla schlagartig zu Wohlstand gekommen; auch seine Geldgeber haben ein gutes Geschäft gemacht.

Westinghouse vereinbarte mit Tesla, dass er für ein hohes Gehalt für ein Jahr nach Pittsburgh als Berater in die Fabrik komme. Die Zusammenarbeit mit den Westinghouse-Ingenieuren scheint nicht erspriesslich gewesen zu sein. Als schliesslich Tesla im Jahr 1889 wieder in sein Laboratorium nach New York zurückkehrte, war er mit seinen eigenen Leistungen in Pittsburgh nicht zufrieden und erklärte, er sei dort nicht frei gewesen und hätte daher nicht schöpferisch arbeiten können.

In einigen seiner grundlegenden Patente der Energieübertragung mit Mehrphasen-Wechselströmen wird Tesla als «österreichischer Untertan» («a subject of the Emporer of Austria») bezeichnet; im Jahr 1889 erwarb sich Tesla das amerikanische Bürgerrecht.

Die Westinghouse Electric and Manufacturing Company kam im Jahr 1891 in finanzielle Bedrängnis, so dass eine Reorganisation nötig wurde. Man plante eine Fusion mit der United States Electric Lighting Company und mit der Consolidated Electric Light Company. Die mitverhandelnden Finanzleute erachteten die Lizenz von einem Dollar für jede installierte Pferdestärke als eine nicht zu verantwortende hohe Belastung, so dass Westinghouse gezwungen war, sich an Tesla zu wenden. In grossmütiger Weise verzichtete dieser auf sein Recht, indem er antwortete: «Herr Westinghouse, Sie waren mein Freund, Sie glaubten an mich, als andere kein Vertrauen hatten; Sie waren mutig genug, voranzugehen und mir eine Million Dollars zu bezahlen, während andere keinen Mut hatten; Sie unterstützten mich als selbst Ihre eigenen Ingenieure nicht die Phantasie hatten, die grossen, vor uns liegenden Dinge vorauszusehen, die Sie und ich erkannten; Sie standen zu mir als Freund. Die Wohltaten, welche mein Mehrphasensystem der Zivilisation bringen wird, bedeuten mir mehr als das in Frage stehende Geld. Herr Westinghouse, Sie werden Ihre Firma retten, so dass Sie meine Erfindungen entwickeln können. Das ist Ihr Vertrag und das ist mein Vertrag — ich zerreisse beide in Stücke und Sie werden keine Schwierigkeiten mehr haben mit den Lizenzgebühren. Genügt das?»

4. Die Weiterentwicklung des Mehrphasensystems und die Frage der Priorität

Im Jahre 1890 bildete *E. D. Adams* als Präsident der amerikanischen Gesellschaft The Cataract Company ein internationales Expertenkomitee, das den Auftrag hatte, für die Ausnützung der Niagara-Fälle die beste Methode zu ermitteln. Dieses Komitee verwarf Vorschläge, die anfallende Energie mechanisch in unmittelbarer Nähe der Fälle zu verwerten, und sah vor, die 43 km entfernte Stadt Buffalo mit elektrischer Energie zu versorgen. Bei der Wahl des Systems entschied es sich mehrheitlich, gegen die Anhänger des Gleichstroms, für den Mehrphasen-Wechselstrom. Darauf bestellte die Cataract Company bei der Westinghouse Electric and Manufacturing Company drei Zweiphasen-Generatoren für 5000 PS, 2250 V, 775 A, 25 Hz, 250 U./min. [11]. Die General Electric Company, die sich eine Lizenz erworben hatte, wurde mit dem Bau der dreidrähtigen Fernleitung von 11 kV beauftragt. — Am 19. November 1896 fuhren in Buffalo die ersten Tramwagen mit Energie, die aus den Niagara-Fällen stammte [12].

An der Weltausstellung von Chicago, die im Jahr 1893 stattfand, zeigte die Westinghouse Electric and Manufacturing Company neben andern Erzeugnissen die Kraftübertragung mit dem Mehrphasen-Wechselstrom von Tesla. Die Firma hatte ferner die Versorgung der Ausstellungsgebäude mit Licht und Kraft übernommen; sie demonstrierte dabei die Verwendbarkeit des Zweiphasensystems mit der Frequenz von 60 Hz. Überdies belegte Tesla eine Einzelausstellung, in welcher viele Experimente vorgeführt wurden.

Schon für die im Mai 1891 eröffnete Internationale Elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt am Main hatten die Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft Berlin (AEG) und die Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) gemeinsam eine Drehstrom-Kraftübertragung eingerichtet. Von Lauffen am Neckar wurde eine Leistung von ungefähr 150 kW über eine Distanz von 175 km versuchsweise übertragen.

Der Synchrongenerator wurde von *C. E. L. Brown* in der MFO gebaut, der Motor von *M. von Dolivo-Dobrowolsky* in der AEG. Beide Firmen lieferten dreiphasige Öltransformatoren. Die Deutsche Postverwaltung baute die Fernleitung nach Plänen und gestützt auf Versuche von *C. E. L. Brown.*

Der Name Drehstrom, der nicht in andere Sprachen eingedrungen ist, stammt von *M. von Dolivo-Dobrowolsky* [13]. Viele Europäer hielten *von Dolivo-Dobrowolsky* und *Brown* für die Erfinder des Drehstromsystems, aber zu Unrecht. *Brown* schrieb selbst [10], dass der Hauptzweck des Experiments der Kraftübertragung Laufen—Frankfurt gewesen sei, zu beweisen, dass die Erzeugung und Übertragung hochgespannter Ströme über weite Entfernungen durch an Isolatoren aufgehängte, nackte Drähte möglich sei, und zwar mit einem solchen Grad von Sicherheit gegenüber Gefahren und mit einem so kleinen Verlust, dass diese Art von Kraftübertragung wirtschaftlich gerechtfertigt sei. Er schloss mit folgender Bemerkung:

> The three-phase current as applied at Frankfurt is due to the labors of Mr. Tesla, and will be found clearly specified in his patents.
>
> *Übersetzung:* Den Dreiphasenstrom, wie er in Frankfurt angewendet worden ist, verdankt man den Arbeiten Herrn Teslas, und man findet ihn in dessen Patenten klar umschrieben.

Auch *von Dolivo-Dobrowolsky* anerkannte die Priorität Teslas [13a], indem er sagte:

> «Ich möchte dann hinzufügen, dass die Priorität bezüglich der Mehrphasenmaschinen und zwar mit dem Vorteil gegen die *Haselwanders*, dass es untersynchronisierte Maschinen waren, *Tesla* gebührt. Diese Schaltungsweise wurde in untersynchronischer Weise gebraucht, also in einem in sich geschlossenen Anker, und zwar von *Tesla*, und ist beschrieben in einer Patentschrift vom April 1888. Es ist ein amerikanisches Patent Nr. 390 414. Dieses Patent ist veröffentlicht worden am 2. Oktober 1888. Wenn die Herren die *Tesla*schen Patentschrif-

ten näher betrachten, so werden sie sehen, dass *Tesla* diese *Motoren* längst ausprobiert und alle Eigenschaften kennen gelernt hat, indem zum Beispiel in der Patentschrift steht, dass der Motor in unerregtem Zustande angelassen werden muss, und dass er dann erst erregt werden darf. Das ist eine Sache, die sich theoretisch nicht vorhersehen lässt; *Tesla* muss deshalb, als er diese Angaben machte, bereits mit der Maschine gearbeitet haben. Das Datum des Patents ist jedoch das massgebende, und ich wollte diese neue historische Tatsache noch zu Ihrer Kenntnis bringen. Ich bin selbst erst neulich daraufgekommen» [3]).

Zur Verbesserung des Drehstrommotors hat *von Dolivo-Dobrowolsky* folgendes beigetragen: Er bevorzugte von Anfang an den Dreiphasenstrom vor dem Zweiphasenstrom und führte für den Stator die in Nuten verteilte Trommelwicklung ein, wogegen Tesla ursprünglich Ringwicklungen benützte und später bewickelte Schenkelpole. Nach der Frankfurter Ausstellung baute die Westinghouse Electric and Manufacturing Company ihre Motoren um [40].

In Frankfurt wurde von Nikola Tesla kaum gesprochen, dagegen wurde *Galileo Ferraris* als Erfinder des Drehfelds gefeiert. Warum?

Vor der königlichen Akademie der Wissenschaften in Turin hatte Prof. *Galileo Ferraris* am 18. März 1888 einen Vortrag über durch Wechselströme erzeugte elektrodynamische Drehungen gehalten [14, 15]. Er zeigte zuerst mathematisch, dass zwei gleichfrequente pulsierende magnetische Felder von verschiedener Richtung und Phase zusammen ein resultierendes magnetisches Feld ergeben, dessen Vektor rotiert, sich dabei in der Stärke periodisch ändert und eine Ellipse beschreibt. Als Sonderfall der Ellipse entsteht ein Kreis, wenn die beiden pulsierenden Felder gleich stark sind, wenn sie zueinander senkrecht stehen und wenn sie zeitlich um 90° phasenverschoben sind. Es entsteht dann ein drehendes Feld. *Ferraris* legte ferner dar, dass sich nach dem Gesetz von *Lenz* ein leitender Körper in einem solchen Felde drehen müsse. In der Tat war es ihm gelungen, einen an einem Faden aufgehängten Kupferzylinder durch ein drehendes Feld in Rotation zu versetzen. Er bemerkte dazu folgendes [14a; 15a]:

Invece di appendere il cilindro conduttore mobile ad un filo o ad una sospensione bifilare, lo si puo far portare da un albero metallico appoggiato su cuscinetti; ed allora, dando all'apparecchio maggiori dimensioni, se ne può formare un motore elettrico per correnti alternative. E evidente *a priori*, e risulterà anche dalle considerazioni che farò piu sotto, che un motore così fatto non potrebbe avere importanza come mezzo di trasformazione industriale di energia, ma per la sua semplicità e per le sue proprietà esso potrebbe tuttavia servire ad utili applicazioni. Io ho combinato un modello provvisorio di motore, ed ho eseguito su di esso alcuni esperimenti.

Übersetzung: Statt den beweglichen leitenden Zylinder mit einem Faden oder bifilar aufzuhängen, kann man ihn durch eine metallische Welle tragen lassen, die durch Lager gestützt ist; und dann, wenn man dem Apparat grössere Abmessungen gibt, kann man daraus einen elektrischen Motor für Wechselströme bilden. Es ist *a priori* klar, und es folgt auch aus den Darlegungen, die ich weiter unten machen werde, dass ein so gemachter Motor keine Bedeutung haben kann als Mittel der industriellen Leistungsumwandlung, aber durch seine Einfachheit und durch seine Eigenschaften wird er immerhin für nützliche Anwendungen dienen können. Ich habe ein provisorisches Modell des Motors zusammengestellt und mit ihm einige Experimente gemacht.

Dieses provisorische Modell zeigt Fig. 4. In hölzernen Rahmen von U-förmigem Querschnitt sind zwei Paare von Spulen gewickelt; die Ebenen der Spulenpaare stehen senkrecht zueinander. Die Welle trägt einen Hohlzylinder aus Kupfer von 8,9 cm Durchmesser, 18 cm Länge und 4,9 kg Gewicht.

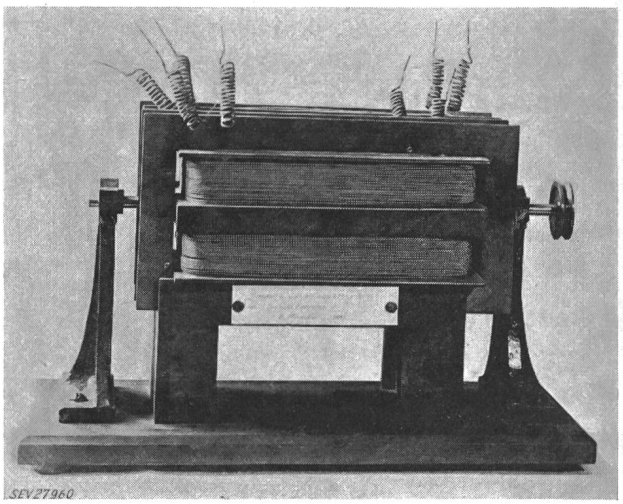


Fig. 4
Bild des «modello provvisorio di motore» von Galileo Ferraris
(Istituto Elettrotecnico Nazionale «Galileo Ferraris», Torino)

Zur Erzeugung der zwei phasenverschobenen Wechselströme ging *Ferraris* von einem Einphasen-Wechselstrom aus. Er beschreibt dabei eine erste [14b; 15b] und eine zweite Schaltung [14c; 15c], die in Fig. 5 schematisch dargestellt sind. Nach beiden Schaltungen lässt sich eine Phasenverschiebung von 90° praktisch nur mit grober Annäherung erreichen. Für die zweite Schaltung verwendete Ferraris einen Transformator von *Gaulard* und *Gibbs;* bei einem solchen enthält der magnetische Kreis eine Luftstrecke.

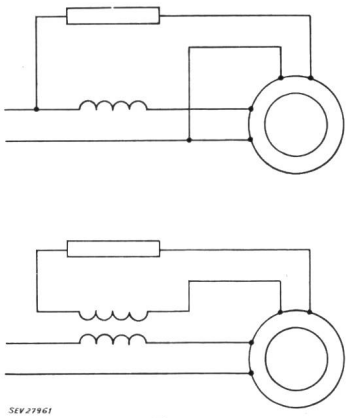


Fig. 5
Von Ferraris verwendete Schaltungen
nach den Textangaben gezeichnet

Der Einphasen-Wechselstrom hatte eine Frequenz von 40 Hz. Der Rotor erreichte im Leerlauf 900 U./min (dem Synchronismus entsprechen 2400

[3]) Die Angaben *von Dolivo-Dobrowolskys* sind, was die Nummern der Patente Teslas anbelangt, unvollständig: Das Patent Nr. 390,414 hat eine mit Schleifringen zu versehende Gleichstrommaschine (Einankerumformer) zum Gegenstand; es erwähnt die Sternschaltung (ohne Sternpunktverbindung) [4]). Der Mehrphasen-Induktionsmotor wird durch das Patent Nr. 382,279 geschützt. Die erwähnten Anlauf-Eigenschaften betreffen den Mehrphasen-Synchronmotor, sie finden sich im Patent Nr. 381,969, S. 2, Zeilen 23...37.

[4]) Die Sternschaltung (mit Sternpunktverbindung) ist Gegenstand des Patents Nr. 390,413.

U./min). Bei 653 U./min gab der Motor 2,77 W ab [14d; 15d]; das war die maximale Leistung.

Ferraris leitet dann ab, dass der Wirkungsgrad eines solchen Motors sich von 1 ungefähr um den Schlupf unterscheide, und dass die abgegebene Leistung ungefähr bei halber synchroner Drehzahl ein Maximum sei. Er bemerkt dazu [14e; 15e]:

Queste relazioni ed i resultati delle esperienze riferite più sopra confermano, ciò che era evidente *a priori*, che un apparecchio fondato sul principio di quello da noi studiato non potrebbe avere alcuna importanza industriale come motore; e quantunque sia possibile studiare le dimensioni di esso in modo da aumentare notevolmente la potenza e migliorarne moltissimo il rendimento, sarebbe inutile entrare qui in alcuna considerazione su tale problema.

Übersetzung: Diese Beziehungen und die Ergebnisse der weiter oben mitgeteilten Versuche bestätigen, was *a priori* klar war, dass ein auf dem von uns untersuchten Prinzip beruhender Apparat nicht irgendeine industrielle Bedeutung als Motor haben könnte; und obschon es möglich wäre, seine Abmessungen im Hinblick darauf zu untersuchen, die Leistung bemerkenswert zu erhöhen und den Wirkungsgrad sehr stark zu verbessern, würde es unnütz sein, hier auf irgendeine Betrachtung dieses Problems einzutreten.

Ferraris erwähnt dann weiter, dass ein solcher Apparat in Vorlesungen und, was viel wichtiger sei, zur Messung des Energieverbrauchs dienen könne.

Auch mit einem Zylinder aus Eisen hat *Ferraris* Versuche gemacht. Die Ergebnisse waren aber negativ. Er begründet dies dadurch, dass der Selbstinduktionskoeffizient der Spulen stark erhöht worden sei, so dass zur Erzeugung der gewünschten Phasenverschiebung im Sekundärkreis des Transformators ein grosser Widerstand notwendig geworden sei, was die Ströme klein werden liess.

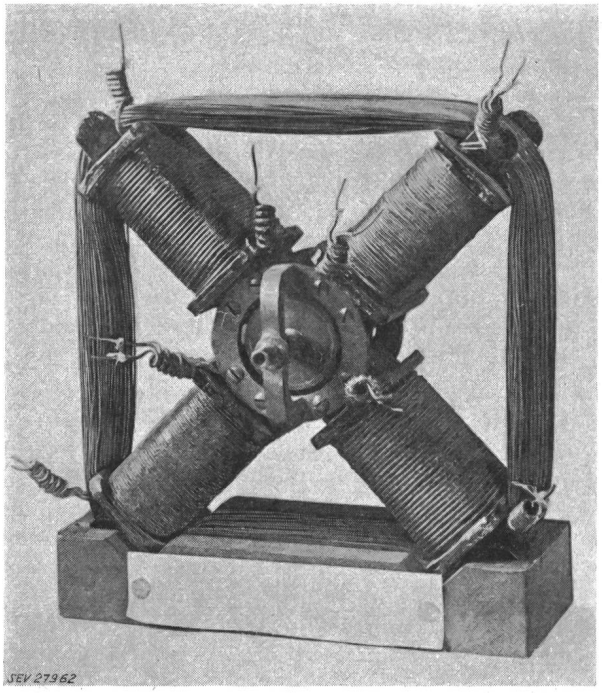


Fig. 6
Bild des «altro modello di motore» von Galileo Ferraris
(Istituto Elettrotecnico Nazionale «Galileo Ferraris», Torino)

Schliesslich berichtet *Ferraris* noch [14f; 15f], dass er Versuche gemacht habe mit einem «altro modello di motore» (andern Modell eines Motors), bei welchem die Trommel im Raum zwischen zylindrisch ausgebohrten Polen von vier Elektromagneten rotierte (Fig. 6). Die Wirkungen seien aber viel schwächer gewesen als beim früheren Apparat. Die Ursache sei die vorher erwähnte.

Im ersten Teil seiner Arbeit bemerkt *Ferraris* in einer Anmerkung [14g; 15g], dass die Experimente, über die er Bericht erstatte, im Herbst 1885 ausgeführt worden seien. *Grassi*, der Nachfolger von *Ferraris*, bestätigt dies [16] und ergänzt, dass das vierpolige Motörchen mit den Eisenkernen im Frühjahr 1886 gebaut worden sei.

Als einerseits die wissenschaftliche Arbeit von *Ferraris* bekannt wurde und anderseits die von Westinghouse gebauten Motoren von Tesla auf dem Markt erschienen, stellte sich die Frage der Priorität. Sie wurde zu einer internationalen Streitfrage, als die Associazione Elettrotecnica Italiana auf Weisung des Regierungschefs am 29. September 1935 das fünfzigjährige Jubiläum der Erfindung des Drehfelds durch *Galileo Ferraris* festlich beging [17] und als man im Jahr 1936 in Belgrad und in andern Städten den achtzigjährigen Nikola Tesla ebenfalls als den Erfinder des Drehfeldes feierte [5].

Zu Gunsten von Ferraris hat sich insbesondere *Silva* in einem sehr sorgfältig und reich dokumentierten Artikel [18] eingesetzt. Dagegen beanspruchte *Damjanowitsch* für Tesla, er sei sechs Monate früher gewesen [19]. Darauf folgte eine Entgegnung von *Silva* [19a] und eine Gegenäusserung von *Damjanowitsch*.

Ferraris selbst war überzeugt, der Erfinder des Drehfeldes zu sein. So schreibt er in einem Bericht über die Weltausstellung in Paris vom Jahr 1889 im Abschnitt über asynchrone Motoren [20]:

I soli motori asincroni coi quali finora si siano ottenuti risultati sufficienti per dar luogo ad una fabbricazione industriale sono quelli nei quali si utilizza un campo magnetico rotante prodotto per mezzo di due correnti alternative presentanti una differenza di fase. Il principio su cui riposa il funzionamento di questi apparecchi è stato dimostrato dall'autore di queste note, ed un primo modello di motore fu sperimentato nel laboratorio di Elettrotecnica del Museo Industriale italiano già nello autunno del 1885. [5])

Übersetzung: Die einzigen Asynchron-Motoren, mit welchen bis jetzt Ergebnisse erzielt wurden, die ausreichten, um Anlass zu industrieller Fabrikation zu geben, sind jene, in welchen man ein magnetisches Drehfeld benützt, das erzeugt wird durch zwei Wechselströme, die eine Phasenverschiebung aufweisen. Das Prinzip, auf welchem die Wirkungsweise dieser Apparate beruht, wurde vom Verfasser dieses Berichts angegeben, und ein erstes Motor-Modell wurde im Laboratorium für Elektrotechnik des italienischen Industrie-Museums schon im Herbst 1885 ausprobiert [6]).

Weiter schrieb *Ferraris* in einem im Anschluss an seinen Besuch der Weltausstellung in Frankfurt an *Grassi* gerichteten Brief vom 23. Juli 1891 [17a]:

Sai infatti che l'idea fondamentale di produrre un campo magnetico rotante per mezzo di correnti alternative è mia. ... Finora a questo riguardo le cose per me vanno molto bene; senza che io me sia occupato, ho visto a Francoforte che tutti attribuiscono a me la prima idea, il che mi basta.

Gli altri facciano i denari, a me basta che mi spetta, il nome.

Übersetzung: Du weisst in der Tat, dass die grundlegende Idee, ein magnetisches Drehfeld durch Wechselströme zu erzeugen, von mir stammt... Bis jetzt stehen

[5]) Le esperienze alle quali qui si allude furono eseguite e pubblicamente presentate nei mesi di agosto e settembre del 1885.

[6]) Die Experimente, auf die hier angespielt wird, wurden ausgeführt und öffentlich gezeigt in den Monaten August und September 1885.

diesbezüglich die Dinge recht gut für mich; ohne dass ich mich darum gekümmert hätte, habe ich in Frankfurt gesehen, dass alle die erste Idee mir zuerkennen.

Die andern haben den Nutzen, wir genügt das, was mir zukommt, der Name.

Der Vortrag über hochfrequente Wechselströme, den Tesla später in London gehalten hat, ist im Jahr 1892 in New York als Büchlein herausgekommen [21]. Es enthält eine kurze Biographie Teslas. Diese ist nicht signiert; wenn sie nicht von Tesla selbst stammt, so darf doch angenommen werden, dass sie nicht ohne sein Einverständnis abgefasst worden ist. Eine Stelle dieser Biographie hat folgenden Wortlaut [21a]:

Early in 1887 the Tesla Electric Company of New York was formed, and not long after that Mr. Tesla produced his admirable epoch-marking motors for multiphase alternating currents, in which, going back to his ideas of long ago, he evolved machines having neither commutator or brushes. It will be remembered that about the time that Mr. Tesla brought out his motors, and read his thoughtful paper before the American Institute of Electrical Engineers, Professor Ferraris, in Europe, published his discovery of principles analogous to those ennunciated by Mr. Tesla. There is no doubt, however, that Mr. Tesla was an independent inventor of this rotary field motor, for although anticipated in dates by Ferraris, he could not have known about Ferraris' work as it had not been published. Professor Ferraris stated himself, with becoming modesty, that he did not think Tesla could have known of his (Ferraris') experiments at that time, and adds that he thinks Tesla was an independant and original inventor of this principle. With such an acknowledgment from Ferraris there can be little doubt about Tesla's originality in this matter.

Übersetzung: Früh im Jahre 1887 wurde die Tesla Electric Company, New York, gegründet, und nicht lange nachher schuf Herr Tesla seine bewundernswerten und epochemachenden Motoren für Mehrphasen-Wechselstrom, in welchen er — auf seine alten Ideen zurückgreifend — Maschinen entwickelte, die weder einen Kommutator noch Bürsten hatten. Es sei daran erinnert, dass ungefähr zu der Zeit, als Herr Tesla seine Motoren herausbrachte und seinen gedankenreichen Vortrag vor dem American Institute of Electrical Engineers hielt, Professor Ferraris, in Europa, seine Erfindung von Prinzipien veröffentlichte, die den von Herrn Tesla angegebenen analog waren. Es besteht aber kein Zweifel, dass Herr Tesla ein unabhängiger Erfinder des Drehfeld-Motors war, denn wenn ihm auch Ferraris zeitlich zuvorgekommen ist, so konnte er doch von den Arbeiten von Ferraris keine Kenntnis gehabt haben, da sie noch nicht veröffentlicht waren. Mit gewinnender Bescheidenheit hat Professor Ferraris selbst erklärt, dass er nicht denke, Tesla könne zu jener Zeit von seinen (Ferraris') Experimenten Kenntnis erhalten haben, und er fügte hinzu, er denke, Tesla sei ein unabhängiger und ursprünglicher Erfinder dieses Prinzips. Mit einem solchen Zeugnis von Ferraris kann kaum ein Zweifel an Teslas Ursprünglichkeit in dieser Sache bestehen.

Man darf dieser Textstelle entnehmen, dass Tesla zwar anerkannte, dass ihm *Ferraris* bezüglich der Bekanntgabe der Erfindung des Drehfeldes zuvorgekommen war, dass *Ferraris* aber erklärte, seine Erfindungen unabhängig von Tesla gemacht zu haben.

Später gingen die Ansprüche Teslas weiter. Im Jahr 1907 erklärte er [22], dass der Artikel von Ferraris erst Jahre, nachdem er seine eigene Erfindung gemacht habe, publiziert worden sei. Und in einem autobiographischen Artikel, der aus dem Jahr 1915 stammt [6c], beschreibt er ausführlich, wie ihm im Jahr 1882 wie ein Blitz die Idee zur Schaffung eines kommutatorlosen Elektromotors gekommen sei, nachdem er das Problem seit der Vorführung von Prof. *Pöschl* im Jahr 1878 mit sich herumgetragen hatte [6d]. Tesla schildert lebhaft, wie er auf einem Spaziergang mit seinem Freund *Szigety* im Stadtpark von Budapest plötzlich alles klar vor sich sah und mit seinem Stock im Sand die Figuren zeichnete, die später in seinen grundlegenden Patenten abgebildet waren. Er berichtet dann weiter [6e], dass er im Jahr 1883 in Strassburg den ersten Motor nach der neuen Erfindung baute und ausprobierte.

Bei der Beurteilung der Prioritätsfrage müssen die Erfindung des Drehfeldes und die Erfindung der Induktionsmotoren getrennt behandelt werden. Betreffend die Erfindung des Drehfeldes sind folgende Tatsachen als erwiesen zu betrachten:

Ferraris hat am 18. März 1888 in Turin seinen Vortrag gehalten, in welchem er seine Theorie der Erzeugung eines Drehfeldes mit Hilfe von zwei phasenverschobenen Wechselströmen darlegte und über seine diese Theorie bestätigenden Experimente berichtet.

Schon vorher hatte Tesla mehrere Erfindungen zum Patent angemeldet, nämlich am 12. Oktober 1887 die Patente Nr. 381,968 und 382,280, am 30. November 1887 die Patente Nr. 381,969, 382,281 und 382,279, und am 23. Dezember 1887 die Patente Nr. 381,970 und 382,282, welche Maschinen zum Gegenstand hatten, die die Erzeugung von Drehfeldern durch zwei oder mehr phasenverschobene Wechselströme benützen.

Betrachtet man einen Vortrag vor einer wissenschaftlichen Gesellschaft und eine Patentanmeldung als gleichwertig bezüglich der Begründung eines Prioritätsanspruchs, so ist die Priorität der Erfindung des Drehfeldes Tesla zuzuerkennen. Nun hat aber *Ferraris* von Anfang an erklärt, dass er seine Experimente schon im August und September 1885 gemacht und andern vorgeführt habe [14g; 15g; 23]. Diese Tatsache wird im Jahr 1903 von Prof. *Grassi*, dem Nachfolger von *Ferraris* [16] und im Jahr 1923 auch von anderen Zeugen bestätigt [17b]. Es erscheint als richtig, die durch die Aussage von Zeugen bestätigten Erklärungen von *Ferraris* als für die Begründung eines Prioritätsanspruchs hinreichend zu erachten. Tesla selbst scheint im Jahr 1892 die Vorwegnahme der Bekanntgabe der Erfindung des Drehfeldes durch *Ferraris* anerkannt zu haben. Man kommt so zum Schluss, dass *Ferraris* die Priorität der Erfindung des durch zwei phasenverschobene Wechselströme erzeugten Drehfeldes zukommt.

Nun kann aber kaum ein Zweifel daran bestehen, dass Tesla die Maschinen, die Gegenstand der vorher erwähnten sieben Patente bilden, vor der Einreichung der Patentanmeldungen gebaut und ausprobiert hat. Wahrscheinlich ist dies in dem Zeitraum zwischen der Gründung der Tesla Electric Company im April 1887 und dem 12. Oktober 1887 geschehen, also zeitlich nach den Experimenten von Ferraris.

Tesla hat erklärt, seinen ersten Motor im Jahr 1883 gebaut und ausprobiert zu haben. Es besteht kein Grund dafür, an der Richtigkeit dieser Behauptung zu zweifeln. Es fehlen aber nähere Angaben: So ist zum Beispiel nicht belegt, wie dieser Motor im einzelnen gebaut war. Bei Prioritätsfragen ist es üblich und unumgänglich, auf Beweise abzustellen. Nun sind aber Beweise für den im Jahr 1883 von Tesla gebauten Drehfeldmotor bisher nicht beigebracht worden. Es gilt daher bezüglich der Erfindung des durch zwei phasenverschobene Wechselströme erzeugten Drehfelds die Feststellung von *Silva* [24]:

Der Beweis dafür, dass die Erfindung Teslas derjenigen von *Ferraris* (1885) vorangegangen sei, ist nicht erbracht worden.

Bei der Beurteilung der Prioritätsfrage bezüglich der Induktionsmotoren ist vorerst klar zu machen, was man unter einem Induktionsmotor zu verstehen hat. Nach übereinstimmender Auffassung ist ein Induktionsmotor ein kommutatorloser, aus einem Wechselstromnetz gespeister Elektromotor, in welchem entweder der Stator oder der Rotor mit dem speisenden Netz verbunden ist und der andere Teil durch den Induktionsvorgang unter Strom gesetzt wird. Nach ebenfalls übereinstimmender Auffassung ist ein Elektromotor eine Maschine, welche elektrische Energie in mechanische Energie umformt. Bei einer solchen Umformung entsteht auch Wärmeenergie. Spielt es für den Begriff des Induktionsmotors eine Rolle, in welchem Verhältnis aus der umgesetzten elektrischen Energie mechanische Energie und Wärmeenergie hervorgehen? Genügt es, dass überhaupt mechanische Energie auftritt, oder muss es ein gewisser Anteil sein?

Man muss unterscheiden zwischen einem Elektromotor in weiterem Sinn, bei welchem es genügt, wenn überhaupt mechanische Energie auftritt, und einem Elektromotor in engerem Sinn, bei welchem die erzeugte mechanische Energie einen so hohen Anteil erreicht, dass der Elektromotor für den Antrieb von Maschinen praktisch Verwendung finden kann. Dies kommt darauf hinaus, dass man von einem Induktionsmotor in engerem Sinn nur dann sprechen kann, wenn der Induktionsmotor einen so hohen Wirkungsgrad erreicht, dass er mit Elektromotoren anderer Art, zum Beispiel mit Gleichstrom-Motoren, in Wettbewerb treten kann.

Die Energieübertragung mit Mehrphasenstrom ist unbestritten die Erfindung Teslas; *Ferraris* hat sie in seinem Vortrag nicht erwähnt. Auch mit Mehrphasen-Induktionsmotoren hat *Ferraris* nicht gearbeitet; dagegen hat das von Tesla am 30. November 1887 angemeldete Patent Nr. 382,279 einen Mehrphasen-Induktionsmotor zum Gegenstand. Auch hier gebührt die Priorität Tesla.

Den Einphasen-Induktionsmotor betrafen eine ganze Reihe von Patentanmeldungen Teslas. Die erste erfolgte am 15. Mai 1888 und führte auf die Patente Nr. 555,190 und 511,915. *Ferraris* hielt seinen Vortrag am 18. März 1888 und experimentierte mit einigen seiner Modelle von Einphasen-Induktionsmotoren schon im August und September 1885. Es handelt sich bei diesen Modellen eindeutig um Induktionsmotoren im weiteren Sinn. *Ferraris* hat das selbst klar erkannt und ausgesprochen. Wie vorher dargelegt worden ist, umschrieb er in seinem Vortrag zweimal, dass seine Motor-Modelle keine Induktionsmotoren im engern Sinn sein könnten. Er legte auch dar, dass die Wirkung seines mit Eisenkernen ausgerüsteten «altro modello di motore» noch schwächer gewesen sei als beim früheren Apparat. Er begründet die verschlechternde Wirkung der Anwesenheit von Eisen in seinem Vortrag [14f; 15h], indem er darauf hinweist, dass die Anwesenheit von Eisen hohe Selbstinduktionskoeffizienten bedinge, die ihrerseits hohe Widerstände zur Erzeugung der benötigten Phasenverschiebung nötig machten. Ja, *Ferraris* wiederholt sogar diese Begründung in seinem Bericht über die Weltausstellung von Paris im Jahr 1889 [23a], obschon er an anderer Stelle desselben Berichts [23b] die in sich kurzgeschlossene Ankerwicklung der Mehrphasen-Induktionsmotoren von Tesla ausdrücklich erwähnt!

Ferraris hat einen Einphasen-Induktionsmotor im weitern Sinn geschaffen, der unter dem Namen «Ferraris-Motor» allgemein bekannt ist und hauptsächlich — wie *Ferraris* richtig vorausgesehen hat — als Triebwerk für Zähler angewendet wird, aber auch für Relais und Messinstrumente.

Um zu einem Induktionsmotor im engeren Sinn zu kommen, waren zusätzliche Erkenntnisse nötig und musste die Technik durch weitere erfinderische Gedanken bereichert werden. Hauptsächlich musste die Sekundärwicklung geschaffen werden. Teslas Anker waren durchwegs mit in sich kurz geschlossenen Wicklungen versehen. Überdies erwähnt er in seinem Patent Nr. 511,560 veränderliche Widerstände. Eine Figur zeigt einen kurzschliessbaren Vorwiderstand in einem der beiden Wicklungsstränge. Heute ist allgemein bekannt, dass es genügt, den speisenden Wechselstrom im Anlauf in zwei Komponenten zu zerlegen.

Betreffend den Einphasen-Induktionsmotor kommt die Priorität für den Motor im weiteren Sinn *Ferraris* und für den Motor im engeren Sinn *Tesla* zu.

5. Die Erfindung des Tesla-Transformators

Nach einem Jahr Dienst bei der Westinghouse Electric and Manufacturing Company in Pittsburgh kehrte Tesla in sein eigenes Laboratorium in New York zurück. Er suchte eine Lösung zur Beseitigung des Geräusches, das mit Wechselstrom gespeiste Bogenlampen verursachen. Sein Plan war, die Frequenz des speisenden Wechselstroms über die Hörgrenze hinaus zu erhöhen. Zu diesem Zweck baute er Einphasen-Generatoren mit möglichst hoher Polzahl.

Am 1. Oktober 1890 hat er sein Patent Nr. 447,920 angemeldet. Der darin beschriebene Einphasen-Generator gestattete, Frequenzen von 5 kHz und mehr zu erreichen.

Eine weitere, bedeutende Steigerung der Frequenz gelang Tesla, indem er die oszillierenden Entladungen eines Kondensators als Nutzstrom verwendete. Um den Kondensator zu oszillierenden Entladungen zu bringen, schaltete er gemäss seinem Patent Nr. 462,418, das er am 4. Februar 1891 angemeldet hat, eine Funkenstrecke in Reihe (Fig. 7).

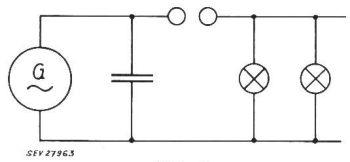


Fig. 7
Schaltung nach USA-Patent Nr. 462,421
angemeldet am 4. Februar 1891, erteilt am 3. November 1891

In seinem Patent Nr. 454,622, das er am 25. April 1891 anmeldete, benützte er den hochfrequent oszillierenden Entladestrom eines Kondensators als Primärstrom eines eisenlosen Transformators (Fig. 8). Damit war der Apparat erfunden, der noch heute

Tesla-Transformator heisst. Die von ihm erzeugten hochfrequenten Ströme hoher Spannung nennt man Tesla-Ströme.

Am 20. Mai 1891 berichtete Tesla vor dem American Institute of Electrical Engineers in einem epochemachenden Vortrag über seine mannigfaltigen Entdeckungen und Erfindungen [25; 10a; 26; 6f]. Er demonstrierte die verschiedenartigsten Lichteffekte in Luft und in evakuierten Gefässen mit und ohne Elektroden und auch in Gefässen, die phosphoreszierende Körper enthielten. Ferner erwähnte und zeigte er, dass man nichts spüre, wenn solche Ströme durch den menschlichen Körper dringen. Schliesslich führte er vor, dass ein U-förmiger Bügel aus dickem Kupferdraht für hochfrequenten Strom eine grössere Impedanz aufweist als eine Glühlampe.

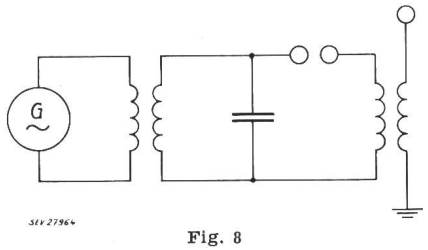


Fig. 8
Schaltung des Tesla-Transformators
nach USA-Patent Nr. 454,622, angemeldet am 25. April 1891, erteilt am 23. Juni 1891

Tesla war berühmt geworden. Es trafen Einladungen aus Europa ein, und er hielt ähnliche Vorträge mit zum Teil neuen Experimenten in London am 3. Februar 1892 in einer ausserordentlichen Sitzung der Institution of Electrical Engineers im Vortragssaal der Royal Institution [27; 21; 6g] und in Paris vor der Société Internationale des Electriciens (heute: Société Française des Electriciens) und der Société Française de Physique.

In Paris erfuhr er, dass seine Mutter schwer erkrankt sei. Er reiste so schnell wie möglich in seine alte Heimat nach Gospić. Dort traf er an einem Nachmittag ein; in der folgenden Nacht starb seine Mutter. Sein Vater war schon früher gestorben. Tesla erkrankte; nach seiner Wiederherstellung besuchte er seine jüngere Schwester Marica und reiste dann nach Belgrad. Dort wurde er als Nationalheld gefeiert. Schliesslich kehrte er nach New York zurück, um sich erneut strenger Arbeit hinzugeben.

Im Jahr 1893 hielt Tesla wieder einen Aufsehen erregenden Vortrag; er sprach am 24. Februar im Franklin-Institut in Philadelphia über Licht und andere Hochfrequenzphänomene [28; 26a; 6h]. Am 1. März 1893 wiederholte er seinen Vortrag vor der National Electric Light Association in St. Louis. Damit hatte er den Gipfel seines Ruhmes erreicht.

Tesla zeigte Apparate zur Erzeugung von Tesla-Strömen und er führte seinem Publikum in den verschiedensten Formen Entladungen, Leuchteffekte, Induktionswirkungen, Wirkungen von Verschiebungsströmen und Resonanzphänomene vor. Insbesondere legte er Wert auf verschiedene Modelle von mit hochfrequentem Strom gespeisten einphasigen Induktionsmotörchen [6j]. Ein solches Motörchen hat er schon in seinem Londoner Vortrag gezeigt [6k] und versprach sich für die Zukunft eine praktische Bedeutung solcher Experimente. Offenbar dachte er dabei an die drahtlose Übertragung verständlicher Zeichen und vielleicht von Leistung zu Antriebszwecken, die ihm im Zusammenhang mit der Resonanz als möglich erschien [6l].

Tesla erkannte die medizinische Bedeutung der physiologischen Wirkungen seiner hochfrequenten Ströme, nämlich die auftretende Erwärmung des Körpers und die zu beobachtende Ermüdung. Er wandte sich an die Ärzte, insbesondere in einem Vortrag, den er am 13. September 1898 in Buffalo anlässlich der Jahresversammlung der Amerikanischen Elektrotherapeutischen Gesellschaft gehalten hat [6m]. Er beschrieb dabei verschiedene Apparaturen, die dazu geeignet waren, den Patienten durch direkten Kontakt von Tesla-Strömen durchfliessen zu lassen oder ihn einem hochfrequenten Feld auszusetzen.

In den Jahren 1896 und 1897 beschäftigte sich Tesla auch mit Röntgenstrahlen, und er ersann mehrere Verbesserungen an den benötigten Apparaturen.

6. Das Problem der drahtlosen Energieübertragung

In den Jahren 1887 und 1888 war es dem deutschen Physiker *Heinrich Hertz* gelungen, die durch *James Clerk Maxwell* aus seiner Theorie des elektromagnetischen Feldes gefolgerten elektromagnetischen Wellen durch weltbekannt gewordene Versuche experimentell nachzuweisen [29]. Mit Hilfe von Entladungsfunken hatte er eine kurzwellige Strahlung erzeugt und mit Parabolspiegeln gebündelt. Damit konnte er zeigen, dass sich die elektromagnetischen Wellen tatsächlich wie Lichtwellen verhalten. Sowohl in der Apparatur, welche die elektromagnetischen Wellen erzeugte, als auch im Resonator, der zu deren Nachweis diente, verwendete *Hertz* Funkenstrecken.

Der französische Physiker *Edouard Branly* berichtete in den Jahren 1890 und 1891 über die von ihm geschaffene Röhre, in welcher sich zwischen zwei metallischen Elektroden Metallpulver befindet [30]. Der Widerstand einer solchen Röhre nimmt sprunghaft ab, wenn in der Nähe eine Funkenentladung stattfindet. Man nannte eine Branlysche Röhre später Kohärer oder Fritter.

Tesla hatte die Versuche von *Hertz* wiederholt, und zwar offenbar im Jahr 1889 [6m]. Er nannte gelegentlich den Namen *Hertz*, so zum Beispiel im Patent Nr. 685,953 (Seite 1, Zeile 32), das er erstmals am 2. September 1897 angemeldet hat, und zu Beginn seines Vortrags von Buffalo im Jahr 1898 [6m]. Bei seinen weitern Arbeiten benützte er aber nicht die kurzen Wellen von *Hertz* (ca. 1 m), sondern arbeitete mit Wellen von mehreren Kilometern Wellenlänge. Dabei nahm ihn das Problem der drahtlosen Energieübertragung mehr und mehr gefangen, und es bildete während Jahrzehnten sein Hauptarbeitsgebiet.

Einige erste Andeutungen über die drahtlose Energieübertragung machte Tesla schon in seinem Londoner Vortrag im Jahr 1892. Er wies damals auf die Leitfähigkeit der verdünnten Gase der Atmosphäre hin und meinte, dass mit Wechselströmen hoher Frequenz und Spannung Motoren auf die Distanz von mehreren Meilen betrieben werden

könnten [6n]. Schon am Vortag des Jahrs 1891 hatte er zuleitungslose Geissler-Röhren aufleuchten lassen [6o].

Genauere Angaben macht Tesla ein Jahr später im Vortrag im Franklin-Institut in Philadelphia. Er sagte dort [31; 6l]:

In connection with resonance effects and the problem of transmission of energy over a single conductor which was previously considered, I would say a few words on a subject which constantly fills my thoughts and which concerns the welfare of all. I mean the transmission of intelligible signals or perhaps power to any distance without use of wires. I am becoming daily more convinced of the practicability of the scheme; and though I know full well that the great majority of scientific men will not believe that such results can be practically and immediately realized, yet I think that all consider the developments in recent years by a number of workers to have been such as to encourage thought and experiment in this direction. My conviction has grown so strong, that I no longer look of energy or intelligence transmission as a mere theoretical possibility, but as a serious problem in electrical engineering, which must be carried out some day. The idea of transmitting intelligence without wires is the natural outcome of the most recent results of electrical investigations.

Übersetzung: Im Zusammenhang mit den Resonanzwirkungen und dem Problem der Energieübertragung mittels eines einzigen Leiters, welches vorher betrachtet wurde, möchte ich noch einige Worte über einen Gegenstand sagen, der ständig meine Gedanken erfüllt und die allgemeine Wohlfahrt betrifft. Ich meine die Übertragung verständlicher Zeichen oder vielleicht von Leistung auf irgendeine Entfernung ohne die Verwendung von Drähten. Ich bin von Tag zu Tag mehr überzeugt von der Ausführbarkeit des Plans; und obwohl ich sehr gut weiss, dass die grosse Mehrheit der Wissenschafter nicht glauben will, dass solche Ergebnisse praktisch und demnächst verwirklicht werden können, so denke ich doch, dass alle die von einer Anzahl Forschern in den letzten Jahren gemachten Fortschritte derart sind, dass sie zu Überlegungen und Experimenten in dieser Richtung ermutigen. Meine Überzeugung ist so stark geworden, dass ich die Energie- oder Nachrichtenübertragung nicht länger als eine rein theoretische Möglichkeit erachte, sondern als ein ernsthaftes Problem der Elektrotechnik betrachte, das eines Tages gelöst werden muss. Die Idee der Nachrichtenübertragung ohne Drähte ist die natürliche Folge der jüngsten Ergebnisse elektrischer Forschung.

Tesla ging in seinem Vortrag noch einen Schritt weiter, indem er das Prinzip einer drahtlosen Energieübertragung skizzierte (Fig. 9). S und S_1 sind zwei Repräsentanten einer beliebigen Anzahl von synchron arbeitenden Stromquellen. P und P_1 sind Körper grosser Oberfläche. Als Energiebezüger nennt er Apparate mit angepasster Induktivität und Kapazität, die durch Resonanz in Tätigkeit gesetzt werden könnten; diese Apparate sind in der Figur nicht dargestellt [31a; 6p].

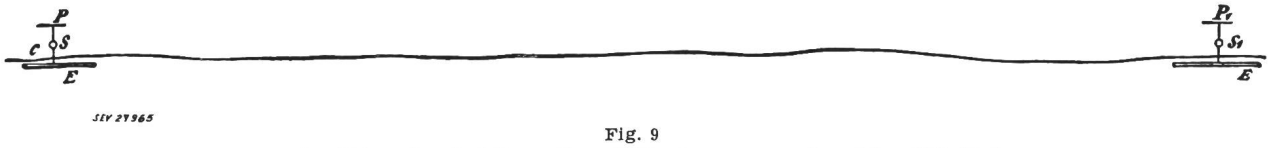


Fig. 9
Teslas Skizze der drahtlosen Energieübertragung aus dem Jahre 1893 [31a]
S, S_1 Stromquellen; C beliebiger Punkt der Erdoberfläche; E Erdungsplatte; P, P_1 Körper mit grosser Oberfläche

Im Winter 1894/95 baute Tesla Apparaturen zum Senden und Empfangen und experimentierte damit in seinem Laboratorium und in der Stadt. Er plante, mit einem Boot den Hudson hinauf zu fahren, um seine Experimente mit wachsender Distanz zu wiederholen. Sein Laboratorium wurde jedoch am 13. März 1895 durch eine Feuersbrunst vollständig zerstört. Alle Dokumente und Apparate gingen verloren. Eine Versicherung bestand nicht. Da kam *E. D. Adams*, jetzt Leiter der Morgan-Gruppe, zu Hilfe; er gründete eine neue Gesellschaft, welche weitere Experimente finanzierte. Schon im Juli desselben Jahres konnte ein neues Laboratorium in Nr. 46 der East Houston Street in New York eröffnet werden. Die Apparate wurden neu hergestellt und im Frühjahr 1897 war Tesla wieder bereit, die Versuche auf dem Hudson durchzuführen. Es gelang ihm, bis auf eine Distanz von rund 35 km eine drahtlose Verbindung mit seinem Laboratorium herzustellen.

Während Tesla — ohne selbst diesen Ausdruck zu verwenden — mit langen Wellen arbeitete, wiederholte *Gugliemo Marconi*, ein am 25. April 1874 geborener Italiener, als Student die Kurzwellen-Versuche von *Heinrich Hertz* [32; 33]. Im Sommer 1895 gelang ihm auf seinem väterlichen Gut in Pontecchio bei Bologna die erste drahtlose Verbindung [34]. Statt des Resonators von *Hertz* benützte *Marconi* den Fritter von *Branly*, dessen Ausführung er wesentlich verbesserte. In seinem ersten Patent, dem britischen Patent Nr. 12,039, das er am 2. Juni 1896 angemeldet hat [33a], beschrieb er seine Apparatur sehr eingehend. Sowohl für den Empfänger wie für den Sender sind in den Patentansprüchen einerseits die Verbindung zur Erde und anderseits zu einem isolierten Leiter genannt. Diese isolierten Leiter können Platten oder Zylinder sein.

Der Chef der englischen Telegraphenbehörde namens *Preece* hatte sich seit einiger Zeit damit abgegeben, durch Induktionswirkungen eine Verbindung zwischen der englischen Küste und Leuchttürmen zu schaffen [35]. An ihn wandte sich nun *Marconi* [34a]. Im Mai 1897 konnte er am Bristol-Kanal (River Severn) erfolgreiche Versuche durchführen und über mehrere Kilometer telegraphieren. Es gelang ihm schliesslich, den ganzen Kanal zu überbrücken (14,5 km). Schon im Juli machte dann *Marconi* Versuche vor La Spezia mit Hilfe der italienischen Marine; es glückte, einige Worte noch bei einer Entfernung von 18 km zu entziffern [36].

Am 2. September 1897 hat Tesla folgende Patente angemeldet: Nr. 645,576, erteilt am 20. März 1900 [7]), und Nr. 649,621, erteilt am 15. Mai 1900. Sie lauten beide auf Energieübertragung; jenes ist dem zur Verwendung kommenden System, dieses der Apparatur gewidmet. Die Abbildungen sind in beiden Patentschriften dieselben. Im Patent Nr. 645,576 schreibt Tesla ausdrücklich (Seite 5, Zeilen 24...41):

While the description here given contemplates chiefly a method and system of energy transmission to a distance through the natural media for industrial purposes, the principles which I have herein disclosed and the apparatus which I have shown will obviously have many other valuable uses — as, for instance, when it is desired to transmit intelligible messages to great distances, or to illuminate upper strata of the air, or to produce, designedly, any useful changes in the

[7]) Dieses Patent fehlt in [6].

condition of the atmosphere, or to manufacture from the gases of the same products, as nitric acid, fertilizing compounds, or the like, by the action of such current impulses, for all of which and for many other valuable purposes they are eminently suitable, and I do not wish to limit myself in this respect.

Übersetzung: Während die hier gegebene Beschreibung hauptsächlich eine Methode und ein System der Energieübertragung auf Distanz durch die natürlichen Medien für industrielle Zwecke betrifft, werden die hier offenbarten Prinzipien und dargelegten Apparate offensichtlich viele andere Anwendungen haben — so zum Beispiel, wenn gewünscht wird, verständliche Botschaften auf grosse Distanzen zu übertragen, oder höhere Luftschichten zu beleuchten, oder absichtlich irgendwelche nützliche Veränderungen der Atmosphäre zu erzeugen, oder aus den Gasen derselben Produkte wie Salpetersäure, Dünger oder dergleichen herzustellen durch die Wirkung solcher Stromstösse, die für alle diese und manch andere wertvolle Zwecke hervorragend geeignet sind, und ich möchte mich diesbezüglich nicht beschränken.

Diese sehr allgemeinen und zum Teil phantastischen Umschreibungen sind wohl zu einem guten Teil darin begründet, dass es sich nicht um eine wissenschaftliche Arbeit, sondern um eine Patentschrift handelt. Sie zeigen aber auch, wie umfassend und phantasievoll Tesla dachte. Dass zum Beispiel seine Ansprüche hinsichtlich der Nachrichtenübermittlung auf einer realen Grundlage ruhten, zeigen seine vorangegangenen Experimente. Es kann aber nicht überraschen, dass die weit gefasste Ausdrucksweise dem Erfinder später verhängnisvoll wurde, indem sie in Patentprozessen offensichtlich nicht ernst genommen wurde. Für die heutige Generation ist es klar, dass Teslas System der drahtlosen Energieübertragung auch die Übermittlung von Nachrichten einschliesst.

Der wesentliche Inhalt der beiden Patente ist das Vorhandensein eines offenen Antennenkreises und eines geschlossenen Stromkreises je im Sender und im Empfänger, wobei alle diese vier Stromkreise auf Resonanz abgestimmt sind.

Dieselbe Abstimmung der vier Stromkreise — für das Gebiet der drahtlosen Telegraphie — meldete *Marconi* am 26. April 1900 zum Patent an; das daraus hervorgegangene Patent Nr. 7777 wurde am 13. April 1901 angenommen. Gestützt auf dieses Patent und auf seine sonstige sehr erfolgreiche Tätigkeit galt *Marconi* in den folgenden Jahren als der Erfinder der drahtlosen Telegraphie und gewann Patentprozesse gegen Tesla, der damals nicht verstanden worden ist. Auf die Priorität Teslas hat dann im Jahre 1913 *Girardeau* [37] deutlich hingewiesen.

Während seines Ringens mit der drahtlosen Übertragung der elektrischen Energie gelang Tesla deren Anwendung zur Fernsteuerung. Am 1. Juli 1898 meldete er ein weiteres grundlegendes Patent an; es betrifft eine Methode und eine Apparatur zur Steuerung von fahrenden Schiffen und Fahrzeugen. Das Patent wurde am 8. November 1898 registriert unter der Nr. 613,809. Im September desselben Jahres hatte der Erfinder seinen staunenden Zeitgenossen in New York ein Modell eines ferngesteuerten Schiffes vorgeführt. Nochmals war Tesla der Held des Tages. Er sah eine Aera ferngesteuerter Roboter voraus.

Um das Problem der drahtlosen Übertragung grosser Leistungen zu lösen, ging Tesla auf immer höhere Spannungen. Als er 4 MV erreicht hatte, erwiesen sich die Abmessungen seines Laboratoriums als zu klein für eine weitere Steigerung der Spannung. Da lud ihn ein neuer Geldgeber, *Leonhard E. Curtis*, ein, bei der westamerikanischen Stadt Colorado Springs ein neues Laboratorium zu bauen. Er konnte ihm Land und elektrische Energie zur Verfügung stellen. Dort errichtete nun Tesla im Jahr 1899 in wenigen Monaten eine Sendestation für 200 kW. Das Hauptstück war ein überaus grosser Tesla-Transformator, den der Erfinder später «magnifying transmitter» (vergrössernder Übertrager) nannte. Die Primärwicklung hatte einen Durchmesser von 23 m; die Sekundärwicklung wies 3 m Durchmesser und 3 m Höhe auf. Damit soll es möglich gewesen sein, hochfrequente Spannungen von 100 MV zu erreichen. Es gelang Tesla, bis auf Reichweiten von 1000 km zu telegraphieren und bis auf 40 km Distanz 200 Glühlampen zum Aufleuchten zu bringen. Leider fehlt ein technischer Bericht über die Versuche.

Die finanziellen Mittel gingen rasch zu Ende, so dass Tesla schon im Herbst 1899 nach New York zurückkehrte. Aufgefordert, über die Ergebnisse der Versuche von Colorado Springs zu berichten, veröffentlichte er im Juni 1900 einen Aufsatz [6q] unter dem Titel

The Onward Movement of Man — The Energy of the Movement — The Three Ways of Increasing Human Energy.

Übersetzung: Der Fortschritt der Menschheit — Die Energie der Bewegung — Die drei Wege der Vermehrung der menschlichen Energie.

In diesem Aufsatz finden sich neben grossartigen geglückten Prophezeiungen viele wortreiche Darlegungen eigenen Schaffens und Denkens. Mehrere Abbildungen aus dem Laboratorium von Colorado Springs zeigen mächtige Entladungen.

In einem offenbar kurz nachher geschriebenen Exposé, aus welchem er in einem autobiographischen Artikel [38; 4a] zitiert, kündigt Tesla sein «Welt-System» an. Dieses soll einerseits gestatten, Leistungen bis zu zehn Millionen Pferdestärken drahtlos zu übertragen, und anderseits die drahtlose Telegraphie, die drahtlose Telephonie, den Rundspruch und das Fernsehen verwirklichen.

Der bekannte Finanzmann *J. Pierpont Morgan* interessierte sich für die kühnen Pläne des erfolgreichen Erfinders und stellte ihm zu deren weiterer Verfolgung beachtliche Mittel zur Verfügung. Zur Verwirklichung des Rundspruch-Teils des Welt-Systems erwarb Tesla auf Long Island, etwa 100 km östlich von New York, ein Grundstück. Es erhielt den Namen Wardencliff. Dort errichtete er eine Sendestation. Im Jahr 1902 stand ein insgesamt 57 m hoher Sendeturm, der oben eine halbkugelförmige Elektrode von 10 m Radius trug.

Im Jahr 1904 schrieb Tesla einen Artikel über die Übertragung elektrischer Energie [39; 6r]. Darin stellt er den baldigen Erfolg in Aussicht. Ein Bild der Sendestation trägt folgende stolze Beschriftung:

Tesla central power plant and transmitting tower for world telegraphy, Wardencliff, Long Island, N. Y.

Übersetzung: Tesla-Kraftstation und -Übertragungsturm für Welttelegraphie, Wardencliff, New York.

Das Kraftwerk für die drahtlose Übertragung grosser Leistungen sollte am Niagara-Fall errichtet

und in kurzer Zeit in Betrieb genommen werden. Im erwähnten Artikel erklärt Tesla, dass dieses erste Kraftwerk schon fertig gestellt wäre, wenn nicht unvorhergesehene Verzögerungen aufgetreten wären, die glücklicherweise nichts zu tun hätten mit rein technischen Dingen [39a; 6s].

Tesla hatte sich getäuscht. Der Seher kommender technischer Verwirklichungen hatte den Blick für das Mögliche verloren. Das Kraftwerk für die drahtlose Übertragung grosser Leistungen wurde nie gebaut. Im Jahr 1905 musste Tesla aus finanzieller Bedrängnis auch die Wardencliff-Station aufgeben. Der Sendeturm wurde im Jahr 1917, als die Vereinigten Staaten in den ersten Weltkrieg eintraten, aus militärischen Gründen zerstört.

7. Spätere Arbeiten

Tesla kehrte nach New York zurück. Da sich weitere Geldgeber einstellten, konnte er alle seine Schulden bezahlen. Zum Teil alte Gedanken aufgreifend, machte er neue Erfindungen. Insbesondere schuf er ein neues System für Turbinen und Pumpen für Gase und Flüssigkeiten [5a]. Er meldete hiezu die Patente Nr. 1,061,142, registriert am 21. Oktober 1909, und 1,061,206, registriert am 17. Januar 1911, an [6t]. Die Flüssigkeit oder das Gas traten bei den Turbinen tangential in die Zwischenräume eines rotierenden Systems paralleler Scheiben ein. Die Umfangsgeschwindigkeit der Scheiben durfte nur wenig niedriger sein als die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit oder des Gases; es ergaben sich deshalb sehr hohe Drehzahlen. Das sich durch Reibung an den Scheiben verlangsamende Medium strömte spiralförmig gegen das Innere der Scheiben, so dass die Geschwindigkeitsdifferenz immer klein blieb. Axiale Kanäle ermöglichten dem Medium den Austritt aus der Turbine und den Eintritt in die nächste Stufe. Mehrere Modelle konnten in Betrieb genommen werden. Die Allis Chalmers Manufacturing Company in Milwaukee prüfte eine Dampfturbine. Über eine Gasturbine wurde lediglich verhandelt. Eine wirkliche Zusammenarbeit kam aber nicht zustande.

Tesla patentierte ferner ein neues Tachometer und andere Apparate [6u].

Unter dem Untertitel «Fernautomaten der Zukunft» berichtet Tesla in einem autobiographischen Artikel [38a], er habe in den letzten Jahren das Problem der Antriebe fliegender Maschinen gelöst, und er plane nun Luftfahrzeuge ohne Flügel und Propeller, die fähig seien, unermessliche Geschwindigkeiten zu erreichen. Eine solche mit Rückstossantrieb versehene Kriegsmaschine bildete er in Fischform ab. Er erklärte dazu, dass es mit der Errichtung geeigneter Anlagen möglich sein werde, solche Wurfgeschosse in die Luft zu schleudern und Tausende von Meilen entfernt genau auf ein Ziel auftreffen zu lassen. Tesla hat sich also zur Zeit des ersten Weltkriegs bereits mit den heute gebauten Raketen beschäftigt. Es handelte sich dabei aber offenbar lediglich um Skizzen und Spekulationen; mindestens sind keine Einzelheiten bekannt geworden.

In den dreissiger Jahren war davon die Rede, Tesla habe Todesstrahlen erfunden; doch auch hierüber wurden keine näheren Angaben gemacht. Schliesslich hat er sich auch mit der Energieübertragung mit Gleichstrom höchster Spannung beschäftigt.

8. Ausklang

Tesla war gross und schlank. Er wog nur 65 kg, obwohl seine Körperlänge mehr als 1,80 m betrug. Seine Kleidung war von betonter Eleganz, bis zur Manie. So kaufte er sich wöchentlich neue Handschuhe und Krawatten.

Von seinen Sekretärinnen und Gehilfen, die er gut behandelte und entlöhnte, verlangte er hingebungsvolle Arbeit. Er selbst war unermüdlich tätig, bis tief in die Nacht hinein. Er soll täglich nur zwei Stunden Schlaf benötigt haben. In dringenden Fällen arbeitete er zwei, ja drei Tage hintereinander durchgehend. Dabei erfreute sich Tesla einer guten Gesundheit. Er zog nie einen Arzt zu, auch nicht wenn er krank war.

Tesla verfügte über ein hervorragend gutes Gedächtnis. Gelesene Texte behielt er in genauer visueller Erinnerung. Er soll acht Sprachen gesprochen haben.

Tesla war erfüllt von seiner Berufung, der Menschheit durch seine Entdeckungen und Erfindungen zu dienen. Auch wenn es ihm schlecht ging, behielt er seinen Glauben an weitere grosse Erfolge. Um sich ganz seiner Aufgabe widmen zu können, verbannte er die Liebe zu Frauen aus seinem Leben. Er hing nur an seiner Mutter und an seiner Lieblingsschwester Marica. Er glaubte nicht an ein Leben nach dem Tode und bekannte sich zu keiner Konfession. Trotzdem er im Kreis seiner Freunde und Mitmenschen lebte, war er allein. Er liess niemanden wirklichen Einblick nehmen in seine Arbeit und zog auch keine Mitarbeiter nach.

Trotzdem es Tesla dank seinen genialen Erfindungen vorübergehend zu wirklichem Wohlstand brachte, verstand er es nicht, Geld zu verdienen: das interessierte ihn nicht.

Wie *O'Neill* [4b] berichtet, soll im Jahr 1912 erwogen worden sein, den Nobelpreis an Tesla und *Edison* zusammen zu verleihen. Aber Tesla lehnte ab, obwohl er damals Geld dringend nötig hatte. Er, der sich als Entdecker fühlte, wollte nicht mit *Edison*, dem Erfinder, gleichgestellt werden.

Im Jahr 1917 sollte Tesla die von Freunden von *Thomas A. Edison* gestiftete Edison-Medaille des American Institute of Electrical Engineers zuerkannt werden. Es war *B. A. Behrend*, einem Freund des alternden Tesla, gelungen, ihn zur Annahme dieser Ehrung zu überreden. Zwischen dem dem Gefeierten gebotenen Nachtessen und der Festsitzung verschwand Tesla unbemerkt. Sein Freund *Behrend* fand ihn schliesslich auf der Plaza of the Library, wo er Tauben fütterte. Die Zeremonie der Überreichung der Medaille konnte daher erst mit zwanzig Minuten Verspätung beginnen.

Vor 1936 wurde in Belgrad eine Gesellschaft für die Gründung des Instituts «Nikola Tesla» gegründet. Diese Gesellschaft und ein besonderes Komitee für die Feier des 80. Geburtstags von Nikola Tesla organisierten für die Zeit vom 26. bis zum 31. Mai 1936 zu Ehren Teslas festliche Veranstaltungen in

Belgrad, Zagreb und Smiljan. Tesla war durch Frau Marica Kosanowitsch, seine Schwester, vertreten. Eine Reihe von Ländern sandte Delegierte. Aus aller Welt trafen Glückwunsch-Adressen und Telegramme ein. Mehrfach erhielt Tesla den Doktor-Titel ehrenhalber. Anschliessend erschien in Belgrad ein stattliches Gedenkbuch [6].

Als bei Tesla die Fähigkeit, Ideen zu verwirklichen, allmählich nachliess und er mehr und mehr spekulativem Denken verfiel, wurden die finanziellen Schwierigkeiten immer peinvoller. Unbezahlte Hotelrechnungen und Reklamationen wegen seiner im Hotelzimmer gehaltenen Tauben zwangen ihn mehrmals, das Hotel zu wechseln. Von seinem 80. Jahre an richtete ihm Jugoslawien eine Rente aus.

Zwischen dem 5. und dem 8. Januar 1943 ist Tesla ganz vereinsamt in seinem Hotelzimmer gestorben.

Literatur

[1] *Landolt, M. K.:* CE 24 Experts; Elektrische und magnetische Grössen und Einheiten. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 26, S. 1139.

[2] *Comité International des Poids et Mesures:* Procès-Verbaux des Séances. Session de 1956, Paris 2e Sér., t. 25(1957), S. 85.

[3] *Bokšan, S.:* Nikola Tesla und seine Werke. Leipzig, Wien, New York: Dtsch. Vlg. f. Jugend und Volk 1932.

[4] *O'Neill, J. J.:* Prodigal Genius. The Life of Nikola Tesla. New York: Washburn 1944.

[4a] idem: S. 209...211.

[4b] idem: S. 228.

[5] *Tesla, Nikola:* Livre commémoratif à l'occasion de son 80e anniversaire. Ed. de la Société pour la fondation de l'Institut Nikola Tesla. Beograd: 1936.

[5a] idem: S. 337...348.

[6] *Tesla, Nikola:* Lectures, Patents, Articles, publ. by Nikola Tesla Museum. Beograd: 1956.

[6a] idem: L — 1...12.
[6b] idem: L — 11.
[6c] idem: A — 198.
[6d] idem: A — 197.
[6e] idem: A — 199.
[6f] idem: L — 15...47.
[6g] idem: L — 48...106.
[6h] idem: L — 107...155.
[6i] idem: L — 131.
[6k] idem: L — 107.
[6l] idem: L — 138.
[6m] idem: L — 156...167.
[6n] idem: L — 71.
[6o] idem: L — 42.
[6p] idem: L — 139.
[6q] idem: A — 109...152.
[6r] idem: A — 113...161.
[6s] idem: A — 158.
[6t] idem: P — 379...387.
[6u] idem: P — 388...410.
[6v] idem: P — 34.

[7] *Westinghouse Electric and Manufacturing Company:* Transmission of Power. Polyphase System. Tesla Patents. Pittsburgh: 1893.

[8] Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs. Bd. 5(1888), S. 305.

[9] *Tesla, Nikola:* A New System of Alternate Current Motors and Transformers. Electr. Wld. Bd. 11(1888), 2. Juni, S. 281...283.

[10] *Brown, C. E. L.:* Reasons for the Use of the Three Phase Current in the Lauffen—Francfort Transmission. Electr. Wld. Bd. 18(1891), Nr. 19, S. 346.

[10a] *Tesla, Nikola:* Experiments with Alternate Currents of Very High Frequency, and Their Application to Methods of Artificial Illumination. idem: S. 19...27.

[11] *Anonym:* Utilisation des chutes du Niagara. Bull. Soc. internat. Electriciens Bd. 13(1896), Nr. 131, S. 304...323.

[12] *Hospitalier, E.:* Transmission d'énergie de Niagara à Buffalo. Industr. électr., Paris Bd. 5(1896), Nr. 119, S. 541...542.

[13] *Dolivo-Dobrowolsky, M. von:* Kraftübertragung mittels Wechselströmen von verschiedener Phase (Drehstrom). Elektrotechn. Z. Bd. 12(1891), Nr. 12, S. 149...153; Nr. 13, S. 161...163 (bes. S. 150).

[13a] idem: S. 306.

[14] *Ferraris, Galileo:* Rotazioni elettrodinamiche prodotte per mezzo di correnti alternate. Atti R. Acad. Sci., Torino, Classe di Science Fisiche, Matematiche e Naturali Bd. 23(1887/88), S. 222...237.

[14a] idem: S. 229.
[14b] idem: S. 227.
[14c] idem: S. 226, 230, 231.
[14d] idem: S. 231.
[14e] idem: S. 235.
[14f] idem: S. 236.
[14g] idem: S. 225.

[15] *Ferraris, Galileo:* Rotazione elettrodinamiche prodotte per mezzo di correnti alternate. Opere di Galileo Ferraris, pubbl. per cura della Associazione Elettrotecnica Italiana. Milano: Hoepli 1902...1904. Bd. 1(1902). S. 333...348.

[15a] idem: S. 339.
[15b] idem: S. 338.
[15c] idem: S. 337, 341, 342.
[15d] idem: S. 342.
[15e] idem: S. 345.
[15f] idem: S. 347.
[15g] idem: S. 336.
[15h] idem: S. 346.

[16] *In Onore di Galileo Ferraris:* Inaugurandosi il monumento in Torino. 17 maggio 1903. Torino: Stamperia Reale di Torino 1903. S. 70...71.

[17] *Associazione Elettrotecnica Italiana:* XL Riunione annuale. Santa Margherita Ligure, 23...28 settembre 1935. Elettrotecnica Bd. 22(1935), Nr. 15, S. 572.
Galileo Ferraris. Discorso di S. E. *Giancarlo Vallauri* per la celebrazione del cinquantenario dell'invenzione del campo ruotante. Torino, 29 settembre 1935. Elettrotecnica Bd. 22(1935), Nr. 19, S. 682...685.
La diffusione nel mondo del principio del campo rotante Ferraris. Discorso del Prof. *G. Sartori* per celebrazione del cinquantenario dell'invenzione del campo rotante. Torino, 29 settembre 1935. Elettrotecnica Bd. 22(1935), Nr. 22, S. 770...775.

[17a] *Sulla priorità di Galileo Ferraris.* Elettrotecnica Bd. 22 (1935), Nr. 21, S. 750...752 (bes. S. 751...752).

[17b] idem: S. 750...752.

[18] *Silva, G.:* Galileo Ferraris, il campo magnetico ruotante e il motore asincrono. Elettrotecnica Bd. 34(1947), Nr. 9, S. 346...378.

[19] *Damianovitch, Al.:* La vie et l'œuvre de Nikola Tesla. Bull. Soc. franç. Electr. 7e Sér., Bd. 1(1951), Nr. 2, S. 85...99 (bes. S. 96).

[19a] *Note de M. Giovanni Silva sur l'œuvre de Nikola Tesla et Ferraris.* Bull. Soc. franç. Electr. 7e Sér., Bd. 1(1951), Nr. 11, S. 735...736.

[19b] *Damianovitch, Al.:* Réponse à la note de M. Giovanni Silva sur l'œuvre de Nikola Tesla et de Ferraris. Bull. Soc. franç. Electr. 7e Sér., Bd. 2(1952), Nr. 17, S. 288...292.

[20] *Opere di Galileo Ferraris,* pubbl. per cura della Associazione Elettrotecnica Italiana. Milano: Hoepli 1902...1904. Bd. 2(1903), S. 404...405.

[21] *Tesla Nikola:* Alternate Currents of High Potential and High Frequency. A Lecture Delivered before the Institute of Electrical Engineers, London. With a Portrait and Biographical Sketch of the Autor. New York: 1892. S. 46.

[21a] idem: VII, VIII.

[22] *Anonym:* Tesla. Electr. Wld. Bd. 49(1907), Nr. 26, S. 1294.

[23] *Opere di Galileo Ferraris,* pubbl. per cura della Associazione Elettrotecnica Italiana. Milano: Hoepli 1902...1904. Bd. 2(1903), S. 405.

[23a] idem: S. 406.
[23b] idem: S. 407.

[24] *Silva, G.:* Galileo Ferraris, il campo magnetico ruotante e il motore asincrono. Elettrotecnica Bd. 34(1947), Nr. 9, S. 369.

[25] Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs. Bd. 8(1891), S. 267.

[26] *Tesla, Nikola:* N' Ts' Untersuchungen über Mehrphasenströme und über Wechselströme hoher Spannung und Frequenz. Zusammengestellt von *Th. C. Martin.* Deutsch von *H. Maser,* Halle a. S.: Knapp 1895. S. 141...196.

[26a] idem: S. 297...382.

[27] *Tesla, Nikola:* Experiments with Alternate Currents of High Potential and High Frequency. J. Instn. electr. Engrs. Bd. 21(1892), Nr. 97, S. 51...163.

[28] *Tesla, Nikola:* On Light and Other High Frequency Phenomena. Electr. Wld. Bd. 21(1893), Nr. 22, S. 407...417.

[29] *Hertz, H.:* Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft. Leipzig: Barth 1892.

[30] *Branly, Ed.:* Variations de conductibilité sous diverses influences électriques. C. R. Acad. Sci., Paris Bd. 111 (1890), Nr. 21, S. 785...790.
Branly, Ed.: Variations de conductibilité des substances isolantes. C. R. Acad. Sci., Paris Bd. 112(1891), Nr. 2, S. 90...96.

[31] *Tesla, Nikola:* On Light and Other High Frequency Phenomena. Electr. Wld. Bd. 21(1893), Nr. 22, S. 413...414.

[31a] idem: S. 412.

[32] *Pession, G.:* Marconi. I Grandi Italiani, Bd. 15. Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese 1941. S. 13.

[33] *Solari, L.:* Marconi nell'intimità et nel lavoro. Milano: Mondadori 1940. S. 7.

[33a] idem: S. 19.

[34] *Jacot, B. L.* und *D. M. B. Collier:* Marconi — Beherrscher des Aethers. Berlin, Wien, Leipzig: Höger 1937. S. 35.

[34a] idem: S. 37.

[35] *Slaby, A.:* Funkentelegraphie. Berlin: Simion 1897. S. 22.

[36] *Anonym:* Marconi's Telegraphiren ohne Draht. Elektrotechn. Z. Bd. 18(1897), Nr. 38, S. 587.
Anonym: Marconi's Telegraph ohne fortlaufende Leitung. Elektrotechn. Z. Bd. 18(1897), Nr. 44, S. 681.

[37] *Girardeau, E.:* La télégraphie sans fil. Mém. et C. R. des Travaux de la Société des Ingénieurs Civils de France. Paris: Hôtel de la Société 1913. Bd. 1, S. 332.... 363.

[38] *Tesla, Nikola:* My Inventions. Electr. Experimenter Bd. -(1919), Februar...Oktober, S. 176.

[38a] idem: S. 601.

[39] *Tesla, Nikola:* The Transmission of Electric Energy Without Wires. Electr. Wld. Engr. Bd. 43(1904), Nr. 10, S. 429...431.

[39a] idem: S. 430.

[40] *Dolivo-Dobrowolsky, M.:* Aus der Geschichte des Drehstromes. Elektrotechn. Z. Bd. 38(1917), Nr. 26, S. 341...344; Nr. 27, S. 354...357; Nr. 28, S. 366...369, Nr. 29, S. 376...377 (bes. S. 355).

Adresse des Autors:
M. K. Landolt, Spyristeig 35, Zürich 6/44.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Neuartige Hochleistungs-Elektromagnete für den CERN

621.318.3 : 061.1(4)

Für die zusätzliche Ausrüstung des grossen Proton-Synchrotons hat der Centre Européen des Recherches Nucléaires (CERN) in Genf die Maschinenfabrik Oerlikon kürzlich mit der Lieferung von 44 Laboratoriumsmagneten im Gesamtgewicht von 600 t betraut. Diese bedeutende Bestellung umfasst zweierlei Arten von Elektromagneten:

a) Ablenkmagnete zum Zwecke der Auswahl und zur Bestimmung der Energie der in den internen Targets des Proton-Synchrotrons erzeugten Sekundärteilchen;

b) Vierpolige Magnete zur Fokussierung der Teilchenbündel zwecks möglichst hoher Konzentration der Teilchen auf die kernphysikalischen Versuchseinrichtungen.

Diese Elektromagnete besitzen aus kupfernen Hohlleitern geformte, wassergekühlte Erregerspulen. Die Temperaturerhöhung des Wassers beträgt 50 °C, was ausserordentlich hohe thermische Beanspruchungen zur Folge hat. Wenn die Eintrittstemperatur des Wassers unterhalb des Taupunktes der umgebenden Luft liegt, wird ein Teil des Äussern der Spulen durch das Kondenswasser der Atmosphäre befeuchtet. Um das einwandfreie Arbeiten der Elektromagnete unter diesen Umständen zu gewährleisten, werden die Erregerspulen einem dielektrischen Versuch unterzogen, wobei nach einem Verbleiben von 24 h im Wasser die Prüfspannung den 15fachen Wert der Betriebspannung beträgt.

Gleichstrom-Kleinstmotor mit hohem Wirkungsgrad

621.313.2-181.4

[Nach *H. Eisler:* Gleichstrom-Kleinstmotor mit hohem Wirkungsgrad, ETZ-B Bd. 11(1959), Nr. 1, S. 7...9]

Für Kleinantriebe, batterie- und sammlergespeiste Rundfunk- und Tonaufzeichnungsgeräte, elektrisch betriebene Spielzeuge, als Hilfs- und Stellmotor in Regelschaltungen, als Aufzugsmotor usw. wurde eine neuartige Konstruktion eines Gleichstrom-Kleinstmotors entwickelt.

Der Motor besitzt Innenpole und einen eisenlosen Anker (s. Fig. 1). Für den Feldmagnet wurde ein keramischer Magnetwerkstoff grosser Koerzitivkraft auf Barium-Eisenoxydbasis gewählt. Der eisenlose Aufbau des Ankers trägt zur guten Kommutierung des Motors bei, begünstigt die Bürsten-Lebensdauer und ergibt eine geringe Reibung in den Lagern. Ferner fehlen die Eisenverluste und das kleine Schwungmoment ermöglicht eine rasche Änderung der Drehrichtung.

Auf der Magnetseite ist ein Druck- und Führungslager, auf der Topfseite nur ein Führungslager mit genügendem Schmiermittelvorrat. Mit Rücksicht auf die Laufruhe wurde ein Plankollektor gewählt mit Bürsten, die eine Lebensdauer von 1000...3000 Betriebsstunden bei Motoren ohne Drehrichtungswechsel erreichen.

Der Fliehkraftregler, im Wicklungszuge angeordnet, ist leicht zugänglich und hält eine grosse Kontakthäufigkeit aus.

Als Grenzen der Motorenwerte werden je nach Wahl der Speisespannung von 1,4...14 V genannt:

Drehmomentbereiche von 1,5...15 gcm bei Drehzahlen von 1200...4000 U./min, Wirkungsgrade von 35...60 %, d. h. Nutzleistungen von 18,5...620 mW, wobei die thermisch zulässige Grenze bei 1...2 W liegt.

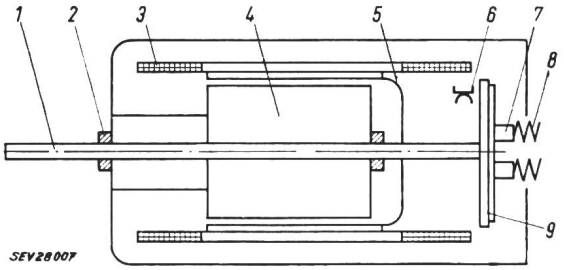


Fig. 1

Schematischer Schnitt durch den Gleichstrom-Kleinstmotor
1 Achse; *2* Lager; *3* Läuferspule; *4* Innenmagnet; *5* Spulenträger; *6* Reglerkontakt; *7* Bürste; *8* Bürstenfeder; *9* Kommutator

Ein weiteres Anwendungsgebiet für den geregelten Kleinstmotor ist die Messung und laufende Registrierung kleiner Drehmomente bei der Prüfung von Getrieben, Antrieben oder Schaltwerken, oder allgemein bei der Messung des Drehmomentbedarfs von motorisch betriebenen Geräten der Feinwerktechnik.

H. Marthaler

Erfahrungen in der Anwendung grosser digitaler Rechenmaschinen zur Berechnung grosser Turbogeneratoren

681.14 -523.8 : 621.313.322-81

[Nach *D. Harrington* und *N. H. Larney:* Experience in Using a High-Speed Computer in the Design of Large Turbine-Generators. Trans. AIEE, Part III, Bd. 78(1959), Nr. 40, S. 1230...1235]

Die Berechnungsabteilungen für Dampfturbinen und Turbogeneratoren der General Electric Company in Schenectady haben schon von 1945 an für einzelne Berechnungsaufgaben die damals verfügbaren Lochkartenmaschinen verwendet. Seit 1956 steht ihnen eine elektronische digitale Maschine zur Verfügung. Hier wird berichtet über die Anwendung dieser Maschine für die Berechnung von Turbogeneratoren.

Die bis jetzt vorbereiteten Programme dienen einerseits für die bei der Bearbeitung der Offerten und Bestellungen erforderlichen Rechnungen, anderseits der Weiterentwicklung. Das Grundprogramm für die allgemeine Berechnung liefert ausgehend von den Bestelldaten und vom Konstrukteur