Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 3 (1912)

Heft: 2

Artikel: Maschinell erzeugte asymmetrische wechsel- elektromotorisch Kräfte und vibratorische Begleiterscheinungen verschiedener Frequenzen

Autor: Farny, J.L.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056917

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: 22.08.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen **„Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz"** sowie **„Jahresheft"** und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an die

Redaktion: Ing.-Consulent Dr. W. Kummer, Mythenstrasse 15, Zürich II (Telephon 5806)

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den

Verlag: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G., Zürich
Bahnhofstrasse 61, Zürich I (Telephon 6741)

Est publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin parait mensuellement et comporte comme annexes annuelles la **„Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse"**, ainsi que l'**„Annuaire"**.

Toutes les communications concernant la matière du „Bulletin" sont à adresser à la

Rédaction: Ing.-Conseil Dr. W. Kummer Mythenstrasse 15, Zurich II (Téléphone 5806)

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les insertions sont à adresser à

l'éditeur: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S.-A., Zurich
Bahnhofstrasse 61, Zurich I (Téléphone 6741)

III. Jahrgang
IIIe Année

Bulletin No. 2

Februar
Fevrier 1912

Maschinell erzeugte asymmetrische wechsel- elektromotorische Kräfte und vibratorische Begleiterscheinungen verschiedener Frequenzen.

Von Professor *J. L. Farny*, Zürich [1]).

Im Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Heft 1 und 2, Jahrgang I, 1910, sind maschinelle Anordnungen beschrieben worden, welche gestatten, periodische asymmetrische Spannungen zu erzeugen. Nachfolgend sollen nun einige Oscillogramme vorgeführt werden, welche ich mit der kleinen Maschine erhielt, die im soeben erwähnten Aufsatz als Maschine No. 2 bezeichnet wurde.

Es werden auch Experimente mit den mittels der Maschine erzeugbaren Hochfrequenzströmen mitgeteilt.

Die Abbildung 1 stellt ein photographisches Bild dieser Maschine dar.

Es ist die Teilung der kleinen Nuten an der Bohrung $^1/_{64}$, diejenige der grossen $^1/_2$ der Ankerperipherie, somit wird die Periodenzahl, welche auf Grund der kleinen Nuten entstehen kann, 32 mal so gross sein, als diejenige, welche den grossen Nuten entspricht.

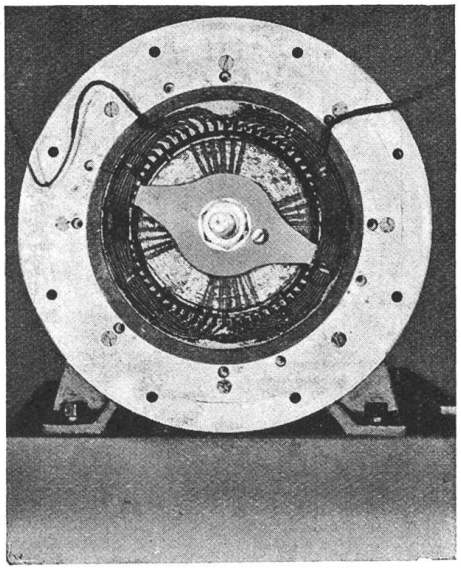


Abbildung 1. Maschine No. 2.

1. Verhalten der Maschine bei Leerlauf.

Die Oscillogramme a_{17}, a_{18}, a_{19}, a_{20} (Abbildung 2) veranschaulichen die zeitlichen Variationen der Leerlaufspannung der Maschine und sind bei nahezu konstanter Geschwindig-

[1]) Nach einem am 30. November 1911 vor der Physikalischen Gesellschaft in Zürich gehaltenen Vortrag.

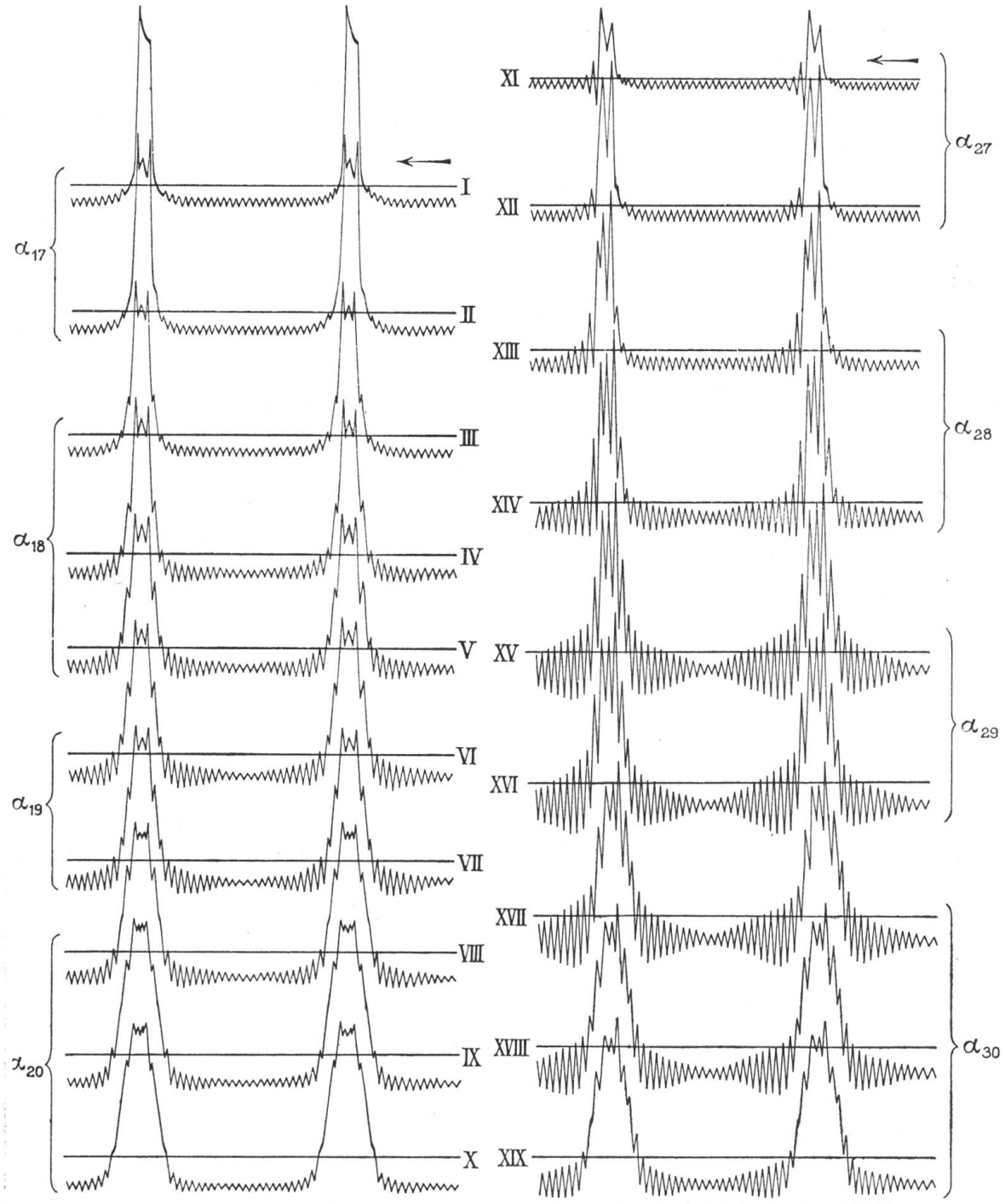


Abbildung 2. *Einfluss verschiedener Erregungswerte bei einer Geschwindigkeit* von etwa 1000 Touren.
Links: Oscillogramme der Maschinenspannung bei Leerlauf. Rechts: Oscillogramme der Maschinenspannung bei Schaltung auf den Transformator mit Umsetzung $\frac{96}{13587}$

Oscillogr. No.	Tourenzahl	Vorschaltwiderstand des Oscillographen	Erregung in Ampèrewindungen	Frequenz ca.	Oberschwingungen ca.	Oscillogr. No.	Tourenzahl	Vorschaltwiderstand des Oscillographen	Erregung ca.	Frequenz	Oberschwingungen ca.	In Transform. eingeführte Ampère	In Transform. eingeführte Watt
								*					
I	995	2000 Ω	193,5	33	1060	XI	1000	334 Ω	193,5	33	1070	0,0	0,7
II	980	4000	580	33	1050	XII	990	„	580	33	1056	0,25	3,3
III	965	5000	774	32	1030	XIII	1010	„	774	33	1076	0,5	5,1
IV	955	5000	967	32	1020	XIV	995	„	967	33	1060	0,55	6,0
V	995	6000	1354	33	1060	XV	965	„	1450	32	1030	0,6	7,7
VI	995	6000	1740	33	1060								
VII	990	6000	1935	33	1056	XVI	1015	„	1935	34	1080	0,7	8,8
VIII	970	6000	2900	32	1035	XVII	1000	„	2900	33	1070	0,65	9,6
IX	1015	6000	3870	34	1080	XVIII	975	„	3870	32	1040	0,6	9,7
X	1005	6000	4840	33	1070	XIX	955	„	4840	32	1020	0,55	10,0

Der Widerstand zwischen den Klemmen des Stromkreises der Oscillographen-Messschleife beträgt etwa 5 Ω.
* Diese Oscillogramme sind mittels 5 Windungen der Hilfswicklung A des Transformators gewonnen worden, nachdem die Formgleichheit mit der Maschinenspannung vorher konstatiert wurde.

keit, aber verschiedenen Erregungen, aufgenommen worden. Wie ersichtlich, ist die Teilung der kleinen Schwingungen im negativen Teil der Kurven $^1/_{32}$ der Periodenteilung, so dass man 1056 Perioden in der Sekunde für diese kleinen Oberschwingungen findet, während die Periodenzahl der elektromotorischen Kraft bloss 33 beträgt. Diese kleinen Oberschwingungen sind also auf einen Einfluss der kleinen Nuten zurückzuführen. So lange die Erreger-Ampèrewindungszahl kleiner ist als etwa 600, ist die Amplitude dieser den kleinen Nuten entspringenden Oberschwingungen während der ganzen negativen Periodenhälfte gleich gross, wie dies aus a_{17} zu ersehen ist.

Nach a_{18} sieht man, wie sich bei zunehmender Erreger-Ampèrewindungszahl ein eigentümliches Anschwellen und Abnehmen der betreffenden Oberschwingungen einstellt. Der Charakter dieser anschwellenden und abnehmenden Oberschwingungen bleibt erhalten, wenn man die Ampèrewindungszahl von 1540 bis 2420 steigert. In a_{19} sind die Verhältnisse für zwei dazwischen gelegene Erregungswerte ersichtlich.

Endlich nimmt bei noch weiter zunehmender Erregung, von 2900 bis 4840 Ampèrewindungen, dieses Anschwellen und Abnehmen der Amplitudinalwerte der Oberschwingungen wieder ab, wie dies aus a_{20} hervorgeht.

Der Sättigungszustand des magnetischen Kreises hat also einen Einfluss auf dieses sonderbare Verhalten, das nun in einigen Zeilen zu deuten versucht werden soll.

Nimmt man an, dass der den Polen entspringende Flux regelmässig einmal während einer Oberschwingung um gleichviel pulsiere, so hat man eine Erklärung für die Abnahme und Zunahme der Amplitude der betreffenden Schwingungen. Sofort vor und nach der positiven Spannungshalbwelle geht nämlich der Flux durch alle Windungen einer Spule. In der Mitte der negativen Periodenhälfte kann eine derartige, den ganzen magnetischen Kreis umfassende Fluxänderung keinen bemerkenswerten Einfluss auf die Ankerelektromotorische Kraft ausüben, weil die in Eingriff mit dem Pol stehende Windungszahl augenblicklich auf Null reduziert ist. Es werden also infolge der Rotation der Pole gleich nach der positiven Halbwelle der elektromotorischen Kraft dem pulsierenden Flux successive weniger Ankerwindungen dargeboten, daher die lineare Abnahme der Amplitudinalwerte der Schwingungen bis zur Mitte der negativen Halbwelle. Von da an gelangen immer mehr Windungen, entsprechend dem Schema der Bewicklung (welches in Abbildung 7 von No. 1, in Band 1910 zu sehen ist), unter den Einfluss der Pole und es kann die Pulsation des Fluxes sich also in immer mehr Windungen äussern, was die Zunahme der Amplituden der Oberschwingungen von der Mitte der negativen Halbwelle an bis zur darauffolgenden positiven Halbwelle erklärt.

Nimmt man umgekehrt an, dass eine Pulsation durch den ganzen Kraftlinienweg nicht bestehe, wohl aber eine periodische Verschiebung der Kraftlinienaustrittspunkte auf der Poloberfläche, wenn die Polkante über eine Nute geht, dass also die Kraftlinien gleichsam durch die Nute bis zu einem gewissen Grade abgestreift werden, so hat man die Art der Oberschwingungen, welche in den Oscillogrammen a_{17} (Abbildung 2) und dem untersten von a_{20} (Abbildung 2) zu sehen sind. Infolge dieser Verschiebung treten nämlich die Kraftlinien mit variabler Geschwindigkeit in die Windungen der Spulen ein, respektive aus, wodurch die regelmässigen kleinen Zacken in der elektromotorischen Kraftkurve erklärt werden. Es ist nun nachzusehen, ob und wie Pulsationen des magnetischen Fluxes im vorliegenden Fall entstehen können oder nicht.

Wenn ein magnetischer Kreis auf einer Strecke des Kraftlinienweges stark gesättigt ist, so können in einem andern Teil des betreffenden Kraftlinienweges Reluktanzänderungen vorkommen, ohne dass Pulsationen des Gesamtfluxes entstehen. Der Flux kann eben fast nicht zu-, sondern nur höchstens abnehmen, und dies nicht einmal in erheblichem Masse, wenn eine grosse magnetomotorische Kraft treibend wirkt und die Reluktanzänderung verhältnismässig nicht sehr gross ist. Die neben den Polzacken verlaufende Streuung hilft natürlich im vorliegenden Fall zum Sättigen des rotierenden Kernes und der Basis der Polzacken, welche Teile hier als gesättigte in Frage kommen können, mit. Bei sehr grossen konstanten magnetomotorischen Kräften sind also Pulsationen des Gesamtfluxes des magnetischen Kreises nicht mehr denkbar. Wohl aber kann, ohne beträchtliche Aenderung des totalen Fluxes, eine wie oben geschilderte Verschiebung der aus den Polen aus-

tretenden Kraftlinien peripherisch längs der Poloberfläche hin, wegen der Nuten, stattfinden. Der Zustand starker Sättigung des magnetischen Kreises hindert also die auf periodische Geschwindigkeitsänderung der Kraftlinien beruhende Ausbildung von Oberschwingungen mit gleichen Amplituden-Werten nicht.

Bei sehr kleinen magnetomotorischen Kräften, und somit kleiner Induktion der Nutenstege, scheint eine solche Geschwindigkeitsänderung, welche der Verschiebung der Kraftlinien längs der Poloberfläche entspringt, eine leichte Sache zu sein, weil eine Aenderung der Dichte der Kraftlinien im Luftspalt im vorliegenden Fall sehr klein bleibt und somit, da der Luftspalt in der Maschine No. 2 sehr klein ist, auf die Gesamtreluktanz keinen bemerkbaren Einfluss hat.

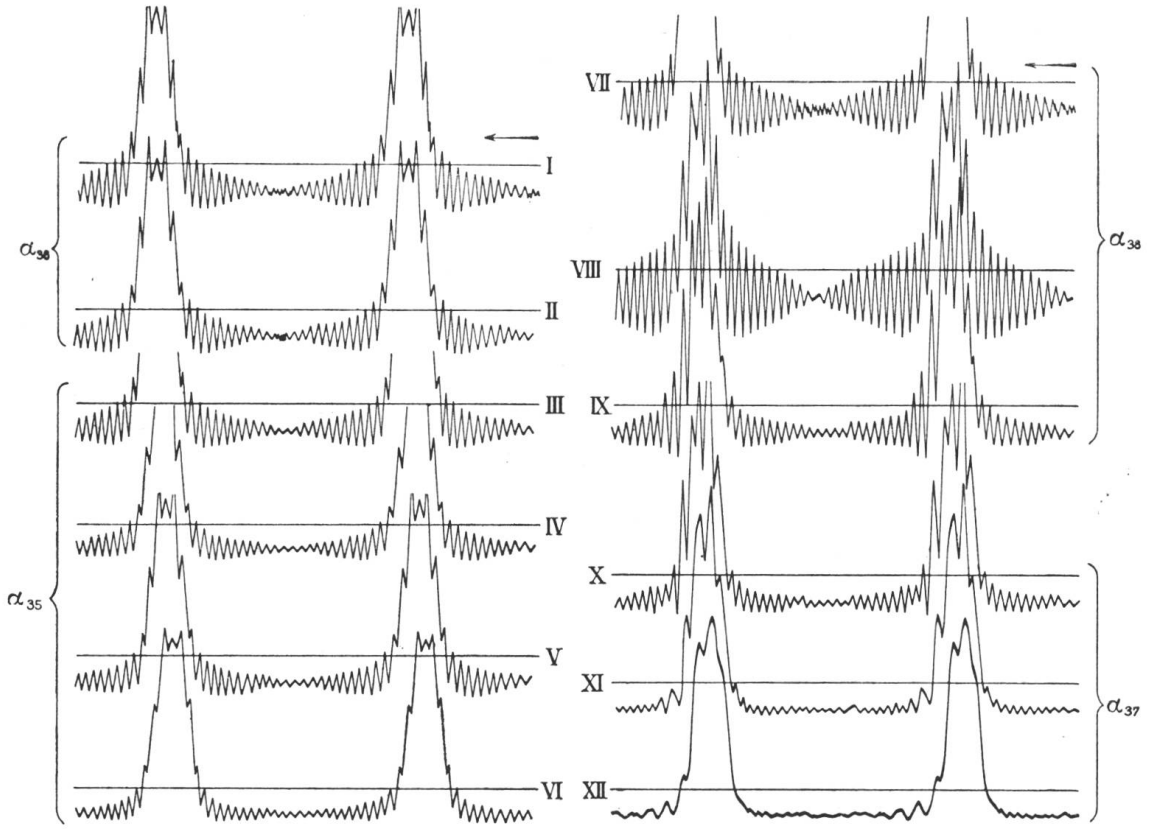


Abbildung 3. *Einfluss verschiedener Geschwindigkeiten bei einem Erregungswert.*
Links: Oscillogramme der Maschinenspannung bei Leerlauf. Rechts: Oscillogramme der Maschinenspannung bei Schaltung auf dem Transformator mit Umsetzung $\frac{96}{13587}$

Oscillogr. No.	Tourenzahl	Vorschaltwiderstand des Oscillographen	Erregung in Ampèrewindungen	Frequenz ca.	Oberschwingungen ca.	Oscillogr. No.	Tourenzahl	Vorschaltwiderstand des Oscillographen	Erregung in Ampèrewindungen	Frequenz ca.	Oberschwingungen ca.	In Transform. eingeführte Ampère	In Transform. eingeführte Watt
								*					
I	500	3060 Ω	1840	16½	534	VII	492	140 Ω	1820	16½	525	0,5	3,3
II	900	5500	"	30	960	VIII	860	250	1840	29	918	—	7,0
III	1085	6750	"	36	1160	IX	1180	330	"	39½	1260	—	10,3
IV	1300	9200	"	43	1390	X	1275	360	"	42½	**1360	—	11,3
V	1500	9200	"	50	1600	XI	1455	410	"	48½	§930	—	12,5
VI	2120	13000	"	71	2260	XII	2100	600	1740	70	1030	—	20,0

* wie bei Abbildung 2.
** Die nachfolgenden Zahlen beziehen sich auf die Schwingungszahlen der ersten gedämpften Schwingungen in der negativen Halbwelle, also der Eigenschwingungen.
§ Diese Zahl ist dem hier nicht reproduzierten Oscillogramm für 60 Perioden entnommen.

Erst wenn die Induktion in den Stegen zwischen den Nuten hinlänglich gross wird, und bevor die übrigen Teile des magnetischen Kreises gesättigt sind, hat man eine bedeutende Zu- und Abnahme der Reluktanz dieser Stege und somit des gesamt-magnetischen Kreises bei verschiedenen relativen Lagen des Poles gegenüber den Nuten und also, neben

Nach dieser Beschreibung handelt es sich im Prinzip um einen Spannungserhöher, sobald auch der Niederspannungsstromkreis geerdet ist.

Es ist noch zu erwähnen, dass neben der Niederspannungswicklung eine kleine Hilfswicklung *A* angebracht wurde, welche mit dem Oscillograph verbunden werden kann und alsdann die aus der Variation des Kernfluxes hervorgehende elektromotorische Kraft angibt. Bei Leerlauf, also offener Hochspannungswicklung, stimmt diese elektromotorische Kraft immer mit der von der Maschine aufgedrückten Spannung überein. Auch bei Belastung wurde eine erhebliche Abweichung gegenüber der aufgedrückten Maschinenspannung bisher nicht konstatiert.

Mit diesem Transformator sind die Erscheinungen erzielt worden, welche nunmehr an Hand der Abbildungen 2, 3, 6 und 7 besprochen werden sollen. Die oscillographischen Aufnahmen a_{27}, a_{28}, a_{29} und a_{30} gemäss Abbildung 2 sind mittels der soeben erwähnten Hilfswicklung gewonnen worden und lassen zunächst die früher angedeutete Steigerung der Oberschwingungen erkennen. Dass diese auf Resonanz zwischen der Eigenkapazität der Hochspannungswicklung und der Selbstinduktion des gesamten Systems zurückzuführen ist, also mit Einschluss derjenigen der Maschine, ist an verschiedenen Merkmalen erkenntlich, nämlich:

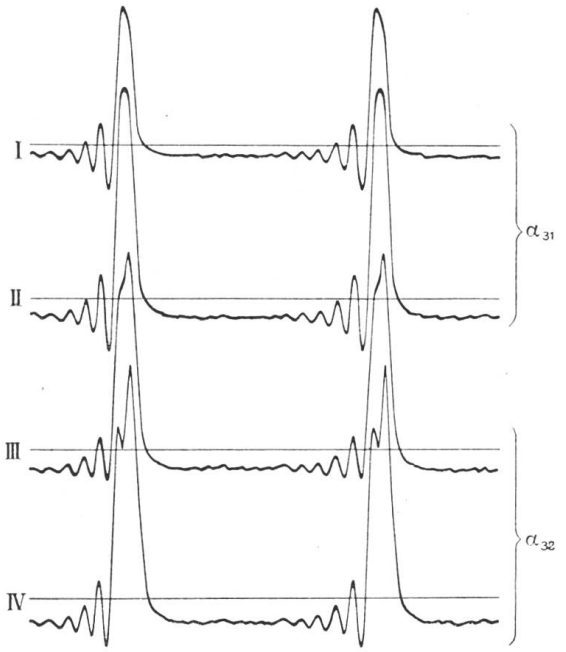


Abbildung 6. *Einfluss verschiedener Erregungswerte bei einer grösseren (doppelten) Geschwindigkeit.*
Oscillogramme der Maschinenspannung bei Schaltung auf den Transformator mit Umsetzung $\frac{96}{13587}$

Oscillogr. No.	Tourenzahl	Vorschaltwiderstand des Oscillographen	Erregung in Ampèrewindungen	Frequenz ca.	Gedämpfte Oberschwingung. am Anfang d. negativen Halbwelleca.	In den Transformator eingeführte	
						Ampère	Watt
I	1965	* 334	193,5	65½	970	0,1	2,5
II	1930	334	387	64½	955	0,3	5,8
III	1925	434	580	64	950	0,4	9,0
IV	1971	434	774	65½	975	0,5	12,0

* wie bei Abbildung 2 und 3.
Wie bei den Oscillogrammen der andern Abbildungen ist in a 31 und a 32 die Zeit von rechts nach links zu zählen.

1. Die in a_{31} und a_{32} (Abbildung 6), bezw. dem untersten Oscillogramm von a_{37} (Abbildung 3) entnommene Periodenzahl der hier in der negativen Halbwelle erscheinenden gedämpften Schwingungen, welche zu der Ansicht führen, es könne der Transformator als

wie ein sich entladender Kondensator wirkend gedacht werden, lässt 930 als untere Grenzzahl und 1030 als obere ansehen, das heisst ist nicht weit von 1050, der Periodenzahl der Oberschwingungen, welche willkürlich in den Versuchen, deren Ergebnisse in Abbildung 2 verzeichnet sind, eingestellt wurde.

2. In a_{29} und a_{30} (Abbildung 2) sieht man wie, gleich *nach* der positiven Wellenhälfte, die Amplitude der Oberschwingungen gross ist, während sie unmittelbar *vor* der positiven Wellenhälfte nur einen bedeutend kleineren Wert erreicht. Es superponiert sich also die Entladeschwingung mit der durch Resonanz ohnehin gesteigerten Maschinenoberschwingung. Die Resonanz erstreckt sich auch auf die Oberschwingungen der positiven Halbwelle, wie man sehen kann.

3. Eine dritte Bestätigung für die erwähnte Resonanz ist aus dem mittleren Oscillogramm (VIII) von a_{38} (Abbildung 3) zu entnehmen, wo die grösste beobachtete Oberschwingungsamplifikation sich bei einer Periodenzahl von 918, also nicht weit von 962, der aus a_{31} und a_{32} (Abbildung 6) ermittelten mittlern Eigenschwingungszahl erwies. Es handelte sich bei vorstehenden Versuchen nur um eine Orientierung, daher wurde nicht getrachtet das Resonanzmaximum genau zu bestimmen.

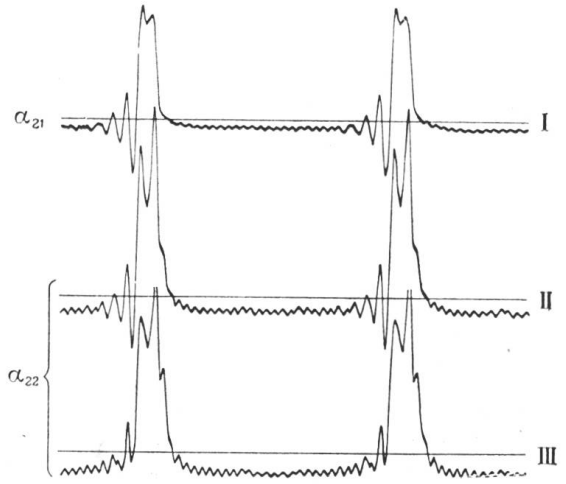


Abbildung 7. *Einfluss verschiedener Erregungswerte bei einer Geschwindigkeit von ca. 1000 Touren.*
Oscillogramme der Maschinenspannung bei Schaltung auf den Transformator mit Umsetzung $\frac{48}{13587}$

Oscillogr. No.	Tourenzahl	Vorschaltwiderstand des Oscillographen	Erregung in Ampèrewindungen	Frequenz ca.	Eigenschwingungen ca.	In Transformator eingeführter Strom, Ampère
		* Ω				
I	1000	334	387	33	660	0,8
II	940	334	774	$31^1/_2$	640	1,2
III	965	384	1354	32	—	1,44

* Diese Oscillogramme sind mittels 3 Windungen der Hilfswicklung A des Transformators gewonnen worden.

4. Aus den Spannungskurven von a_{21} und a_{22} (Abbildung 7), aus denen die Eigenfrequenz 650 zu entnehmen ist, kann man sehen, dass die bei 33 Perioden konstatierte Steigerung der Oberschwingungen verschwindet, wenn das Umsetzungsverhältnis des Transformators von $\frac{96}{13587}$ auf $\frac{48}{13587}$ verändert wird. Dasselbe tritt beim Umsetzungsverhältnis $\frac{24}{13587}$ ein, wie aus den Oscillogrammen a_{41} (Abbildung 8) hervorgeht. Hier ist die Eigenfrequenz nur noch ungefähr 530.

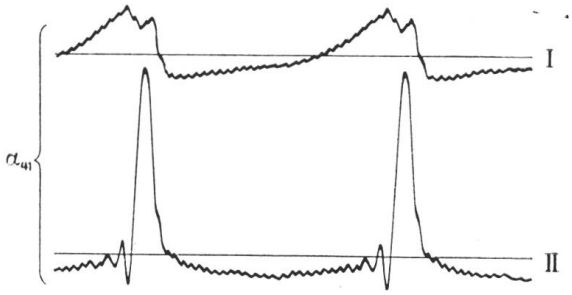


Abbildung 8.

I Oscillogramm des Ankerstromes und
II Oscillogramm der Maschinenspannung bei Schaltung auf den Transformator mit Umsetzung $\frac{24}{13587}$ und offenbar Hochspannungswicklung
Erregung: 1160 Ampèrewindungen
Touren: 870
In den Transformator eingeführt: 3,7 Ampère, bez. 32 Watt
Frequenz: etwa 29
Eigenschwingungszahl: etwa 530
Das Oscillogramm II ist mittels 5 Windungen der Hilfswicklung A des Transformators und mit einem Vorschaltwiderstand des Oscillographen von 1000 Ω abgenommen worden.

Nur um wohlgelungene gedämpfte Schwingungen von Strom und Spannung des Ankers in ihrer relativen Lage zu einander zu zeigen, möge die Platte a_7 (Abbildung 9) folgen. Die auf dieser registrierten Oscillogramme (oben: Spannung an den Klemmen der Maschine, unten: Strom durch dieselbe) wurden erhalten, als die Maschine auf den Transformator geschaltet war, den mir seinerzeit die Maschinenfabrik Oerlikon freundlichst geliehen hatte (vergl. Bulletin 1910 No. 2.) Die Eigenschwingung hatte hier als Frequenz 470.

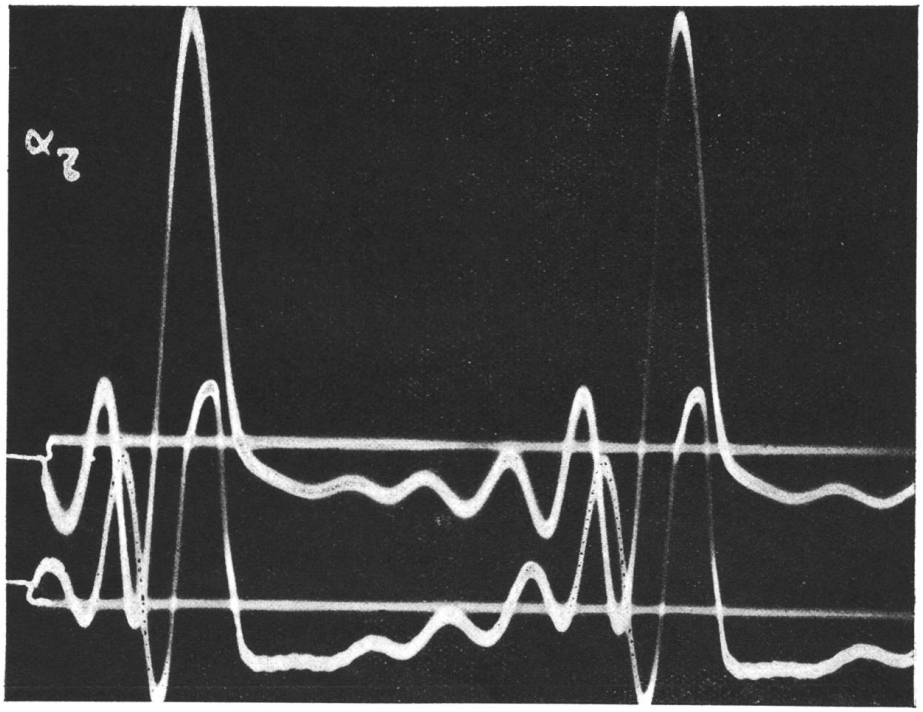


Abbildung 9. Gleichzeitige Aufnahme von Spannung und Strom der Maschine bei Schaltung auf einen Transformator mit Umsetzung $\frac{1}{500}$ und offener Sekundärwicklung

Erregung: 967 Ampèrewindungen. Tourenzahl: 2160. In den Transformator eingeführter Strom: 2,85 Amp.
Frequenz: 72. Eigenschwingungszahl: ca. 470.
Die Stromkurve ist bei den Kreuzungen an den kleinen darauf vermerkten Punkten erkennbar.

3. Erzeugung von Röntgenstrahlen.

Wir betrachten nun die Erzeugung von Röntgenstrahlen mittels des oben beschriebenen Transformators, und zwar entsprechend der Schaltung nach Abbildung 10.

Im Aufsatz von No. 2 des Jahrgangs 1910 hatte ich, trotzdem es mir bis dahin nur unter Zwischenschalten von Funkenstrecken und Widerständen gelungen war, Röntgenstrahlen ohne sogenanntes Schliessungslicht zu erhalten, die Vermutung ausgesprochen, dass es doch möglich sein müsse, diese Widerstände und Funkenstrecken in der Hochspannungsstrombahn zu eliminieren.

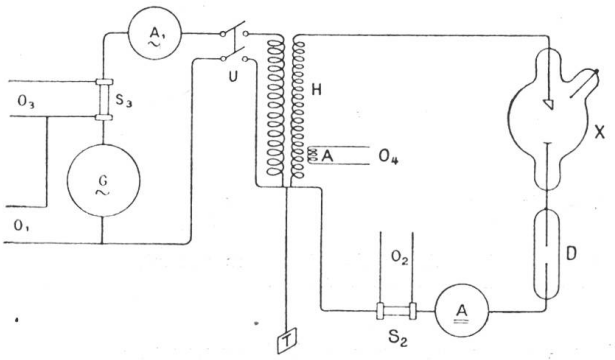


Abbildung 10.

Schaltschema der Anordnung zur Erzeugung von Röntgenstrahlen.

G Generator gemäss Abbildung 1
$\tilde{A}_1$ Dynamometrisches Ampèremeter mit 2 Messbereichen 0—5 und 0—10 Ampère
U Ausschalter
H Hochspannungswicklung des Transformators nach Abb. 4
A Hilfswicklung des Transformators nach Abbildung 4
A Milliampèremeter für Gleichstrom
D Glimmlichtröhre zur Angabe der Stromrichtung
X Röntgenröhre
O_1, O_2, O_3 und O_4 Anschlüsse für den Oscillographen
S_2, S_3 Nebenschlüsse für den Oscillographen
T Erdung des gemeinsamen Punktes der Hoch- und Niederspannungsspulen.

Diese Vermutung ist in Erfüllung gegangen. Im Schema gemäss Abbildung 10 sind weder Widerstände noch Funkenstrecken vorhanden.

Es folgt nun in Abbildung 11 ein unter Einschaltung des Transformator-Umsetzungsverhältnisses $\frac{96}{13587}$ gewonnenes Resultat. Das obere Oscillogramm von a_{33} (Abbildung 11)

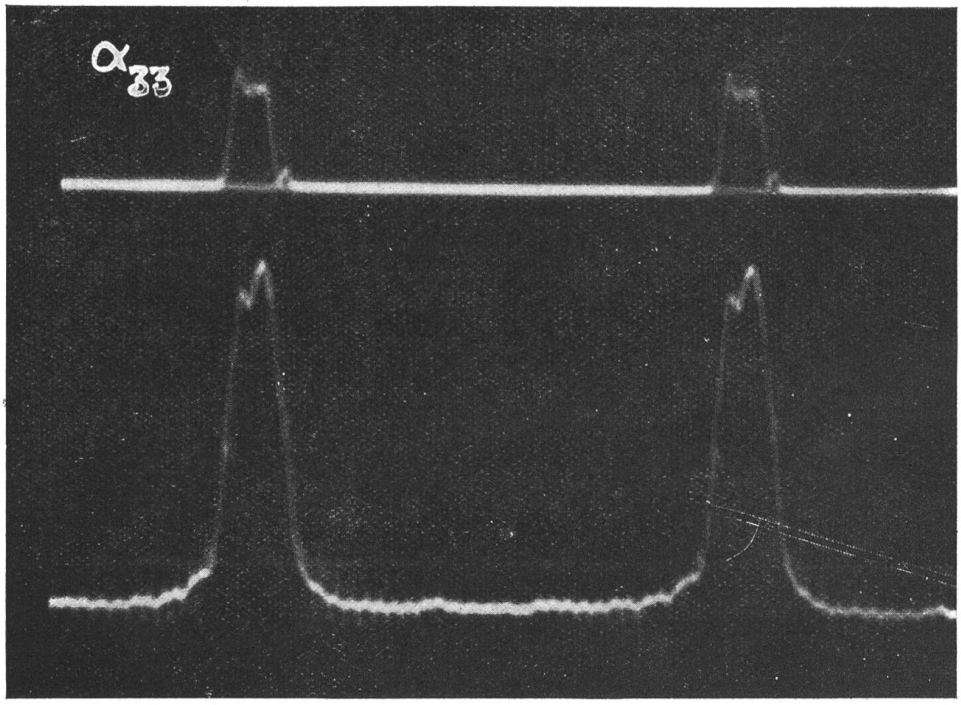


Abbildung 11. Unten: 1⁰, Schwach sichtbares Oscillogramm der Maschinenspannung bei geöffnetem Schalter *U*
2⁰, stärker sichtbares, superponiertes Oscillogramm der Maschinenspannung bei den unten angegebenen Belastungsverhältnissen durch die Röntgenröhre
Oben: Oscillogramm des durch die Röntgenröhre gehenden Stromes
Umsetzungsverhältnis des Transformators: $\frac{96}{13587}$ — Erregung: 1260 Ampèrewindungen — Tourenzahl: 1985
Strom durch die Röhre: 0,43 Milliampère — In Transformator eingeführte Leistung: 24 Watt — In Transformator eingeführten Strom: 0,6 Ampère — Vorschaltwiderstand für den Oscillographen zur Aufnahme der Maschinenspannungen: 9000 Ω.

gibt die Stromvariation durch die Röhre unter den in der Legende der betreffenden Abbildung angedeuteten Verhältnissen an.

Der in dieser Legende angegebene arithmetische Mittelwert der Stromstärke des durch die Röhre gehenden Stromes ist als der grösstmögliche bei der Umsetzung $\frac{96}{13587}$ des Transformators anzusehen. Versucht man nämlich durch Steigerung der Erregung oder der Geschwindigkeit einen grössern positiven Strom durch die Röhre zu erhalten, so kommt neben dem allerdings vergrösserten positiven ein negativer Strom hinzu, der im Intervall der negativen Maschinenspannung auftritt und natürlich sogenanntes Schliessungslicht in der Röhre erzeugt.

Die untern übergelagerten Kurven von a_{33} stellen die Spannungskurve an der Maschine unmittelbar vor und während des Einschaltens des Transformators dar. (Der Schalter U_2 gemäss Abbildung 10, wurde während der Belichtung der Platte geschlossen.)

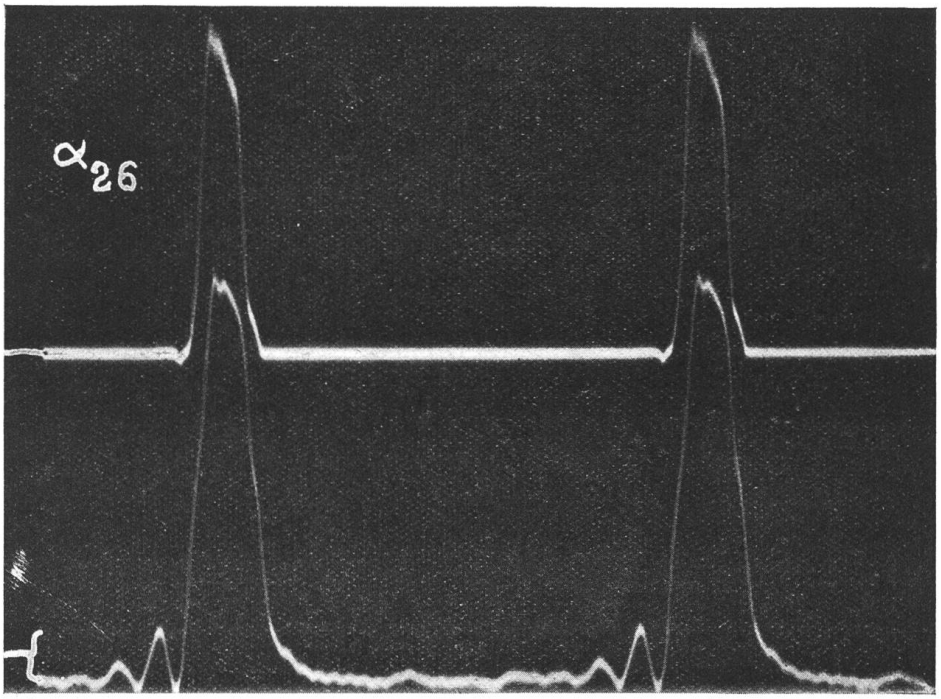


Abbildung 12. (In einer einzigen Belichtung aufgenommen). — Oben: Oscillogramm des durch die Röntgenröhre gehenden Stromes. — Unten: Maschinenspannung während des Betriebes der Röntgenröhre unter nachstehenden Bedingungen.
Umsetzungsverhältnis des Transformators: $\frac{48}{13587}$ — Erregung: 1065 Ampèrewindungen. — Tourenzahl: 1260.
Strom durch die Röhre: 1,28 Milliampère. — In Transformator eingeführte Leistung: 48 Watt. — In Transformator eingeführten Strom: 1,9 Ampère. — Vorschaltwiderstand für den Oscillographen zur Aufnahme der Maschinenspannung: 4500 Ω.

Vergleicht man die (schwach sichtbare) Leerlauf-Spannungskurve der Maschine, welche einen ähnlichen Verlauf hat, wie die Kurve V von a_{18} (Abbildung 2), mit der superponierten, stärker hervortretenden (weil eine grössere Expositionszeit angewandt wurde), Maschinenspannung bei Belastung, so sieht man, dass die beiden Spitzen der Leerlaufspannung, in der kurzen positiven Halbwelle, bei Belastung verschwinden. Der Transformator-Erregerstrom beruhigt augenscheinlich im vorliegenden Falle die Oberschwingungen in der negativen Halbwelle der Maschinenspannung, wie bereits in a_{41} konstatiert wurde. Der kleine erste positive Ansatz in der Stromstärke-Kurve lässt vermuten, dass die erste Zacke im Anstieg der positiven Wellenhälfte einen viel höheren augenblicklichen Wert annimmt, als der Oscillograph anzugeben vermag.

Als im Transformator das Umsetzungsverhältnis auf $\frac{48}{13587}$ eingestellt war, ergab sich die oscillographische Aufnahme a_{26} (Abbildung 12). Der ohne Schliessungslicht erzeugbare grösste Strom in der Röhre, mit dem Gleichstrom-Milliampèremeter gemessen, stieg

auf 1,28[1]) Milliampère; die in den Transformator eingeführte Leistung, gemessen mittels eines dynamometrischen Wattmeters, betrug dabei bloss 48 Watt bei 1,9 Ampère, welche vom dynamometrischen Ampèremeter angegeben wurden. Diese Zahlen sanken auf 22 Watt, respektive 1,3 Ampère bei offenem Hochspannungsstromkreis.

Nun wurde das Umsetzungsverhältnis im Transformator auf $\frac{24}{13587}$ gebracht und die eigentümlichen Hochspannungsstromkurven von α_{39} und α_{40} (Abbildungen 13 und 14, unten) erhalten. (Auf diesen Platten figurieren die gleichzeitig aufgenommenen Maschinenspannungen jeweilen oben.)

Die sehr rapiden Vibrationen, welche etwas vor der Mitte der negativen Spannungsdauer auftreten, bedeuten Schliessungslicht durch die Röhre. Sie nehmen an Frequenz ausserordentlich rasch zu, sobald die Grundfrequenz etwas zunimmt: 2050 bei 29 Perioden und 3030 bei 32 $^1/_2$. Die Zahlen 2050 und 3030 gelten für die Oberschwingungen zwischen den auf den Kurven angebrachten Punkten in beiden Abbildungen. Wie man sieht, ist die Frequenz zu Anfang und gegen Ende der Schwingungen kleiner und ungleichförmig.

Es ist aber in diesen Schwingungssätzen ein wunderbarer Beharrungszustand vorhanden, denn sie wiederholen sich in identischer Weise bei jeder negativen Wellenhälfte so lange als die Erregung und die Tourenzahl konstant bleiben. Wie sämtliche übrigen Oscillogramme sind daher auch α_{39} und α_{40} Zeitaufnahmen.

Die Schwingungszahlen dieser Oberschwingungen fallen in das Intervall der musikalischen Luftschwingungen. Hörbar dürften sie jedoch kaum sein, nachdem sie ja im Hochvakuum entstehen. Es müssten die Rohrwandungen in Mitschwingung geraten.

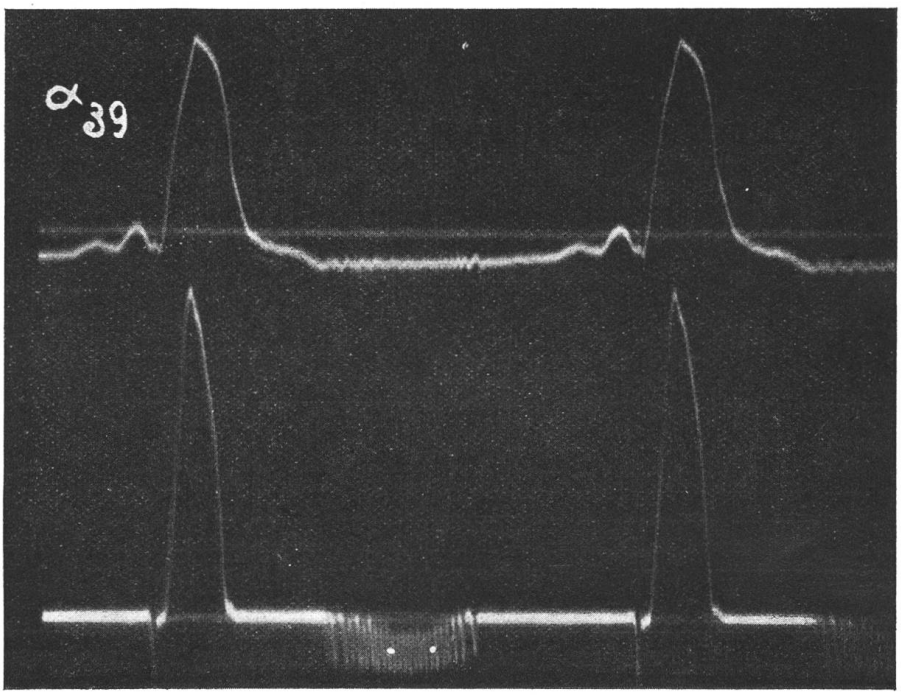


Abbildung 13. (In einer einzigen Belichtung von etwa 10 Sekunden aufgenommen).
Oben: Maschinenspannung bei Betrieb der Röhre mit den hier unten angegebenen Daten
Unten: Oscillogramm des durch die Röntgenröhre fliessenden Stromes
Umsetzungsverhältnis des Transformators: $\frac{24}{13587}$
Erregung: 1160 Ampèrewindungen
Tourenzahl: 970
Strom durch die Röhre (arithmetisches Mittel): 0,67 Milliampère
In Transformator eingeführte Leistung: 60 Watt
In Transformator eingeführten Strom: 4,65 Ampère.

[1]) Durch Anwendung einer speziellen Polform ist es seither gelungen, ohne Schliessungslicht einen Strom von nahezu dreifachem Betrag mittels der gleichen Anordnung durch die gleiche Röhre zu treiben.

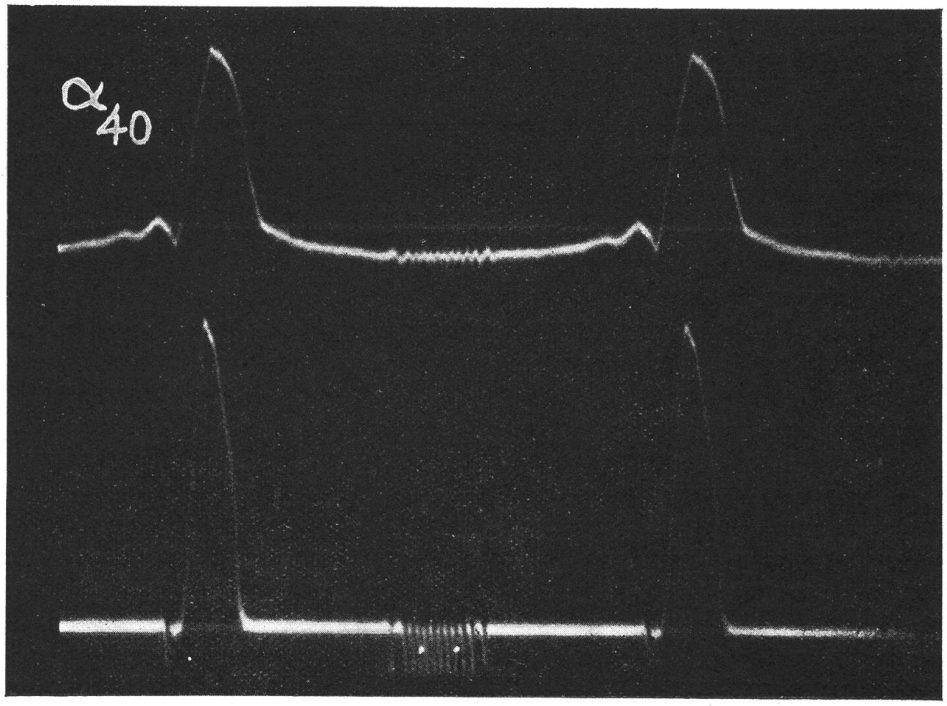


Abbildung 14. (In einer einzigen Belichtung von etwa 10 Sekunden aufgenommen).
Oben: Maschinenspannung während des Betriebes der Röntgenröhre mit nachstehend angegebenen Daten
Unten: Oscillogramm des durch die Röhre fliessenden Stromes
Umsetzungsverhältnis des Transformators: $\frac{24}{13587}$
Erregung: 1160 Ampèrewindungen
Tourenzahl: 870
Durch die Röntgenröhre fliessender Strom: 0,9 Milliampère (arithm. Mittel)
In den Transformator eingeführte Leistung: 50,5 Watt
In den Transformator eingeführten Strom: 4,39 Ampère.

Ausgeschlossen ist dies indessen keineswegs, denn schon Hittorf[1]) hatte beim Nachprüfen der Resultate von Gassiot mit Hilfe einer Hochspannungsbatterie bestätigt, dass bei einem hinreichend grossen Widerstand in der Zuleitung die Glimmentladung (freilich nicht in einem Röntgenrohr), diskontinuierlich sei, und dass das Rohr dann häufig einen Ton hören lasse, dessen Höhe im Zusammenhang mit der Frequenz der Entladungen stehe. Ferner hatte er gefunden, dass bei Verkleinerung des Zuleitungswiderstandes der Ton höher und die Entladung lichtstärker werde. Er hatte weiter in Erfahrung gebracht, dass der Uebergang zur kontinuierlichen Entladung bei einem bestimmten Widerstandswert in der Zuleitung sprungweise erfolge und dann der Ton natürlich plötzlich aufhöre. Endlich hatte er konstatiert, dass, wenn ein grosser Kondensator parallel zur Röhre geschaltet sei, dieser Sprung dann schon eintreten könne, wenn die einzelnen Entladungen im Vakuumrohr mit so niedriger Frequenz pulsieren, dass das Auge sie zu unterscheiden imstande sei.

Gegenüber diesen Versuchen von Hittorf weichen, abgesehen von der Methode, die hier mitgeteilten Resultate dadurch ab, dass hier der Zuleitungswiderstand als sehr klein angesehen werden kann und nicht ein Widerstand überhaupt willkürlich eingestellt wird, ferner durch das Vorhandensein von Selbstinduktion und Kapazität im Stromkreis.

Freilich darf man sich eventuell vorstellen (wie Hittdorf schon in seiner dritten Mitteilung Wied. Ann. 7. 1879, p. 553 bemerkt), es sei der nach Hittorf und Hertz zur Schaffung der Diskontinuität der Glimmentladung erforderliche grosse Widerstand bereits im Röntgenrohr selbst enthalten.

Vergleicht man die Oscillogramme, welche *H. Simon* über die Ströme des selbsttönenden Lichtbogens veröffentlicht hat („Physikalische Zeitschrift" und „E. T. Z." 1907,

[1]) Vergl. Mitteilung *Hertz,* Wiedemann's Annalen 19, 1883, p. 796.

Heft 13 und 14, insbesondere p. 314), so scheint auf den ersten Blick, als ob unter den obwaltenden Umständen der Glimmstrom der Röhre einen analogen Schwingungserzeuger ergibt, wie, in der von Duddell angegebenen Schaltung und im Poulsen'schen Hochfrequenzgenerator, der Gleichstrom des Lichtbogens. Im vorliegenden Fall wäre die Eigenkapazität der Hochspannungsspule und des Kernes des Transformators im Spiel mit der Selbstinduktion des Transformators und der Maschine. Die Energiezufuhr würde hier im Schwingungskreis selbst erfolgen.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich aber diese Auffassung, welche also von einem parallelgeschalteten unabhängigen Schwingungskreis abstrahiert, wohl nicht als zutreffend. In den Oscillogrammen a_{39} und a_{40} treten ja Schwingungszahlen von erheblich abweichenden Grössen auf, ohne dass Kapazität oder Selbstinduktion *scheinbar* verändert worden wären, sondern nur die aufgedrückte Spannung. (Das Wort „scheinbar" ist angebracht, weil später gezeigt wird, dass mit demselben Transformator und Generator, nur auf Grund des Ersatzes der Röntgenröhre durch eine Funkenstrecke, Schwingungen von ganz kurzer Dauer erzeugt werden können, welche auf eine Verkleinerung der dabei wirksamen Selbstinduktion und Kapazität schliessen lassen. Ob eine derartige Verkleinerung bereits zwischen 2000 und 3000 Vibrationen eingetreten ist, dürfte allerdings sehr fraglich sein). Die Entstehung der Schwingungen ist ferner nach a_{39} und a_{40} eine plötzliche, im Gegensatz zu dem, was im Duddell'schen Schwingungskreis erfolgt. Endlich scheinen einzelne negative Stromspitzen, wie solche unmittelbar nach der positiven Wellenhälfte auftreten, mit den einzelnen Impulsen der Wellenzüge von a_{39} und a_{40} identifiziert werden zu können.

Durch weitere Versuche, mit andern Erregungen und Tourenzahlen sowie mit einer Maschine desselben Prinzips, aber anderer Bauart, wurde festgestellt, dass Oberschwingungen von derselben Art wie die abgebildeten, unter andern Umständen entstehen können, und somit nicht etwa unter ausschlaggebendem Einfluss der früher betrachteten, von der Maschine herrührenden, Oberschwingungen entstehen. Die hier in Frage stehenden Schwingungen sind weiter auch erhältlich, wenn das Umsetzungsverhältnis des Transformators auf $\frac{36}{13587}$, oder $\frac{48}{13587}$ eingestellt wird. Ihr Wellenzug ist je nach Form der negativen Wellenhälfte der Spannung länger oder kürzer und nicht an die Mitte der betreffenden Wellenhälfte gebunden; er stellt sich weiter da ein, wo das Maximum dieser Wellenhälfte vorhanden ist. Sind zwei gleichwertige Maxima vorhanden, so können zwei Wellenzüge entstehen.

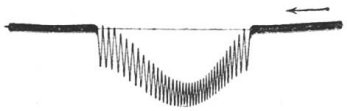


Abbildung 15.

Form des negativen Stromwellenzuges beim Uebergang zur vibrationslosen negativen Strombildung. Dieser Uebergang erfolgt so rasch, dass es nicht möglich ist, ihn photographisch mit dem benützten Oscillographen aufzunehmen. Abbildung 15 ist also nicht eine Reproduktion eines Oscillogrammes.

Lässt man die Geschwindigkeit weiter zunehmen, so biegt sich der auf a_{39} erscheinende Bogen noch mehr aus, wie in Abbildung 15 gezeigt; die Frequenz der Schwingungen steigt noch, aber ihre Amplitude in der Nähe des Gipfels des Bogens nimmt ab. Ob diese Abnahme der Amplitude wirklich ist, oder nur dem Umstande entspricht, dass der Oscillograph nicht mehr folgen kann, muss vorderhand dahingestellt bleiben. Die betreffenden Oberschwingungsamplituden können bei Zunahme der Geschwindigkeit gelegentlich so klein werden, dass der Gipfel des Bogens auf einer gewissen Strecke als eine kontinuierliche Linie erscheint, in welche die Schwingungen von der Abscissenaxe aus allmählich übergehen. Geht man noch weiter mit der Geschwindigkeit, so erscheint plötzlich eine negative Stromkurve, ohne vibratorischen Charakter, von hoher Frequenz.

Ich habe daher wegen der oben erwähnten Annäherung an die Ermittelungen von Hittorf und Hertz zur Klassifizierung der Erscheinung den Vorzug gegeben, trotzdem diese Autoren in ihren Stromkreisen keine nennenswerte Selbstinduktion hatten und den Nachweis einer spontanen Superposition von Schwingungen auf einen kontinuierlichen Strom, mangels geeigneter Mittel, nicht erbringen konnten.

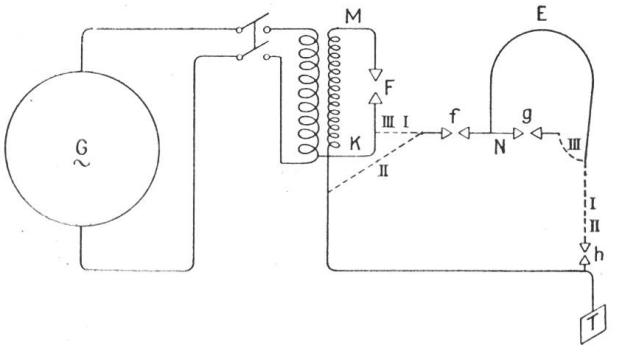
Dass diese rapiden Vibrationen, welche nach den Oscillogrammen α_{39} (Abbildung 13) und α_{40} (Abbildung 14) im Strom der Röhre entstehen, nicht etwa der Eigenschwingungszahl der Oscillographenmessschleife entspringen, geht unzweideutig daraus hervor, dass sie auf beiden Platten α_{39} und α_{40} nicht den gleichen Wert haben und variabel sind, das heisst kleiner zu Anfang und am Ende ihres Wellenzuges. Die Eigenschwingungszahl der Messschleife ist übrigens nach den Angaben des Konstrukteurs noch zwei- bis dreimal so gross. Die Eigenschwingungen der Strommessschleife würden auch nicht auf die Messschleife der Maschinenspannung übertragen, wie dies hier eintritt.

4. Erzeugung von Hochfrequenzströmen.

Wird der Hochspannungsstromkreis des Transformators nach dem in Abbildung 16 dargestellten Schema über eine Funkenstrecke *F* geschlossen, so erhält man Hochfrequenzströme, welche nach Angabe eines Wellenmessers eine Frequenz von der Grössenordnung von 500 000 Vibrationen in der Sekunde besitzen, sofern in dem Leiter *M* eine zylindrische Spule von 60 Windungen eingeschaltet ist.

Dass die Erdung für die Ausbildung dieser Hochfrequenzströme nicht hemmend wirkt, geht daraus hervor, dass, gleichgültig ob man die Funkenstrecke *f* direkt nach *I, II* oder indirekt entsprechend mit dem geerdeten Teil der Funkenstrecke *F* verbindet und den Draht *E,* der eine Länge von etwa 10 m hat, so ausbildet, dass er zum Erdleiter als paralleler Zweig nach *I . . . h* oder nach *II . . . h* hinzukommt, an der Funkenstrecke *f,* oder falls diese kurzgeschlossen ist, am Ende von *E,* also in *h,* Funken entstehen, sobald der Abstand in dieser Funkenstrecke genügend klein gemacht ist. Das durch die Stromwege *I* oder *II* parallel geschaltete Erdleiterstück beträgt im ersten Fall etwa $3\,^1/_2$, im zweiten $2\,^1/_2$ Meter. Im Fall *I* lassen die Funken auf eine sie erzeugende Potentialdifferenz von etwa 20 000 Volt, im zweiten auf eine solche von ungefähr 4000 Volt schliessen.

Wird das Ende des Leiters *E* nicht mehr mittels *h* dem Erdleiter genähert, sondern mit der Funkenstrecke *g* in Verbindung gebracht, so treten in dieser gleichzeitig wie in *f* Funken auf, sobald die Funken in *F* übergehen und aktiv sind. [1])



Schema der Anordnung zur Erzeugung von Hochfrequenzströmen.

G Generator (vergl. Abbildung 1)
M und *K* Zuleitungen zur Hauptfunkenstrecke *F,* des Hauptschwingungskreises.
f, g und *h* Einstellbare Nebenfunkenstrecken.
N Zuleitung zur Funkenstrecke *g.*
E Isolierter Leiter, der mit *g* oder *h* in Verbindung gebracht werden kann.
T Erdung des Verbindungspunktes zwischen Hoch- und Niederspannung des Transformers.
I ÷ f ÷ E ÷ I ÷ h Nebenschlussleitung zu *K* und dem Erdungsleiter.
II ÷ f ÷ E ÷ II ÷ h Nebenschlussleitung zum Erdleiter *T* allein.
III ÷ f ÷ E ÷ III ÷ g ÷ N Isolierter Nebenkreis, der durch *f* in Verbindung ist mit dem Hauptschwingungskreis.

Abbildung 16.

Ich habe diese Hochfrequenz-Experimente zur Demonstration vor der Physikalischen Gesellschaft gewählt im Anschluss an eine Aeusserung, welche ich in der Sitzung tat, in welcher Ing. H. Wagner, Direktor des stadtzürcherischen Elektrizitätswerkes mitteilte, dass die Erdung des Sternpunktes der Drehstromkraftübertragungsanlage des Albulawerkes (unter

[1]) Am Ende des Vortrages wurden die soeben erwähnten Hochfrequenzerscheinungen den Anwesenden vorgeführt.

Zwischenschalten eines Wasserstrahles um den direkten Kurzschluss zu vermeiden, der sonst eintreten würde, wenn eine der Fernleitungen per Zufall den Erdboden berühren sollte), sich als wirksames Mittel gegen oscillatorische Ueberspannungserscheinungen erwiesen hatte, welche das Funktionieren der Hochspannungsschalter hervorbrachte. Da der Redner hervorhob, es sei die betreffende Erdung auf Vorschlag von Ingenieur K. P. Täuber ausgeführt worden, ersuchte ich in der Diskussion Herrn Täuber uns mitzuteilen, was ihn dazu geführt habe. Herr Täuber wies auf frühere Erfahrungen und auf die Erniedrigung des Potentialwertes gegen Erde hin.

Im Hinblick auf frühere Beobachtungen (siehe z. B. auch Bulletin 1910, Seite 55), insbesondere auf diejenige, dass zwischen zwei Leitern eines kleinen Niederspannungsnetzes, das geerdet war, Funken von zirka 1 cm Länge auftraten, sobald eine Hochspannungsfunkenstrecke unter gewissen Umständen durch die transformierte asymmetrische Spannung der Maschine nach Abbildung 1 funktionierte, glaubte ich im Laufe der Diskussion der Meinung Ausdruck geben zu können, dass nicht die Erdung an sich, noch die Potentialerniedrigung gegen Erde, als Grund zur Verhütung von Hochfrequenz-Ueberspannungen anzusehen sei, sondern es müssten durch den eingeschalteten Erdungswasserstrahl, in Verbindung mit den andern Wasserstrahlen, welche auf den abgehenden Leitungen angebracht seien, Leitungskreise gebildet worden sein, welche für Hochfrequenzströme starke Dämpfung besässen.

In der Jahresversammlung des S. E. V. in Genf habe ich an diese früher ausgesprochene Meinung angeknüpft. Nachdem also die Erdung als solche hinsichtlich der im Netz selber erzeugten Hochfrequenzströme von mir als indifferent hingestellt wurde, erscheinen, nebenbei bemerkt, die diesbezüglichen Aussagen, welche mir laut Protokoll der betreffenden Genfer Verhandlungen angedichtet werden, sehr phantasiereich; insbesondere enthielten die von mir einfach verlesenen Konklusionen des Herrn Campos kein Wort von einer Erdung.

Zu meinen soeben erwähnten Meinungsäusserungen möchte ich nun bei vorliegender Gelegenheit noch nachfolgendes beifügen:

Das kleine aber verwickelte Niederspannungsnetz, von dem soeben die Rede war, ist nun nach und nach abgebrochen worden, und es wurde gefunden, dass die meisten Abzweigungen keinen prinzipiellen Einfluss hatten, sondern nur auf die Länge der Funken einwirkten, was eventuell einem Resonanzeffekt zugeschrieben werden könnte. Es blieben zwei Leiter übrig, zwischen denen die Funken auftraten und von denen der eine geerdet war; es ergab sich also das Schema der Abbildung 15.

Vergleicht man dieses Schema mit dem ersten klassischen Schema der Versuche von Hertz (Wiedemanns Annalen 31, 1887, p. 421), so sieht man, dass das Induktorium, von welchem Hertz Gebrauch machte, hier durch den Transformator ersetzt ist. Der Kern des letztern tritt an die Stelle einer der von Hertz bei seinem Oscillator benützten Kapazitäten. Endlich ist hier der Nebenkreis bei den Anordnungen *I* und *II* aus dem Erdleiter und dem Leiter *E* mit den Funkenstrecken *f* und *h* gebildet; im Falle *III* dagegen besteht er aus dem einzigen Leiter *E* mit der Funkenstrecke *g*. Der Leiter *N* hat dabei keine nennenswerte Länge.

Lässt man daher von einem Punkte der Funkenstrecke *F* zwei gleich lange isolierte Leiter von gleichem Drahtdurchmesser ausgehen, denkt man sich also *N* und *E* gleich, so bekommt man, wie den Hertz'schen Versuchen entsprechend zu erwarten, keine Funken zwischen ihren Enden in *g*, und zwar sowohl, wenn der Verbindungspunkt beider Transformatorenwicklungen geerdet, als wenn er es nicht ist. Macht man aber die Drähte verschieden, so erscheinen die Funken zwischen ihren genäherten Enden, also in *g*.

Auf Seite 56 des Jahrgangs 1910 habe ich mitgeteilt, dass das Einschalten eines Widerstandes R_2 die sekundären Hochfrequenzfunken zum Erlöschen brachte. In Verfolgung dieser Erscheinung, welche offenbar mit dem oben gesagten in Verbindung steht, musste untersucht werden, ob dasselbe Resultat erzielbar sei, wenn man den Widerstand des Verbindungsleiters *K* (Abbildung 16), zwischen unterem Teil der Funkenstrecke und gemeinsamem Punkt der Hoch- und Niederspannungsspulen auf höhere Werte bringt. Nun hat sich zunächst gezeigt, dass der Lichtbogen in *F*, selbst bei unendlichem Wert

dieses Widerstandes aktiv bleibt. Also selbst bei isoliertem unterem Teil der Funkenstrecke *F* ergeben sich kleine sekundäre Fünkchen an der Nebenfunkenstrecke *g*, im Fall *III*, sofern die Funkenstrecke *f* kurzgeschlossen, und ein Funken von 4 mm in *F* überspringt.

Des weitern ist zuzufügen, dass auch dann, wenn in den Leiter *M* (Abbildung 16) ein Widerstand eingeschaltet wurde, der Funke in *g* nicht ausblieb, sobald ein solcher in *F* überhaupt noch auftreten konnte. Der Widerstand in *M* wurde nämlich gesteigert, bis die Funken in *F* versagten; erst dann erlöschten auch die Fünkchen in *g*. Die Inaktivität des Lichtbogens in *F* war also nicht erreichbar, indem noch so grosse Widerstände mit ihm in Serie geschaltet wurden und er dementsprechend noch so lichtschwach und mager sein mochte. Seine Aktivität verschwand erst mit ihm selbst. Die verwendeten Widerstände in den Leitern *K* und *M* bestanden aus Glasröhrchen, welche mit Wasser der städtischen Leitung gefüllt waren.

Es wurden nun die früher in *K* und *M* in Serie geschalteten Wasserwiderstände aus diesen Leitungen entfernt. Sie wurden mit dem Lichtbogen in *F* parallel geschaltet, und nach und nach so weit verkleinert, bis die Funken in *F* versiegten. Wieder zeigten sich immer Fünkchen in *g*, so lange die Funken in *F* überhaupt existierten.

Es erscheinen nun diese Resultate im Widerspruch mit dem frühern Experiment. Sieht man ferner eine Analogie zwischen den Hochfrequenzströmen des vorliegenden Falles und denjenigen, welche beim Ausschalten eines Leiters unter Strom entstehen, was plausibel erscheint, so liegt überdies der Schluss nahe, das Einschalten eines Widerstandes zur Unterdrückung von Hochfrequenzströmen der letztgenannten Kategorie müsse als wenig versprechend erachtet werden.

In Wirklichkeit wäre aber diese letzte Folgerung verfrüht.

Nicht allein auf die Fähigkeit des Lichtbogens, Hochfrequenzströme zu erzeugen, kommt es natürlich an, sondern es muss eben in diesen Hochfrequenzströmen eine hinlängliche Energie pulsieren, wenn diese Ströme Wirkungen von Belang zur Folge haben sollen. Die soeben angeführten Experimente waren bloss geeignet, die Aktivität des Lichtbogens an und für sich unter den obwaltenden Umständen nachzusehen. Die sekundären Fünkchen in *g* waren daher nur auf ihre Existenz geprüft, und dementsprechend die betreffende Funkenstrecke *g* möglichst klein eingestellt.

Dass Widerstände die Schwingungsenergie vernichten, ist eigentlich selbstverständlich. Es darf daher gar nicht überraschen, wenn nun gesagt wird, dass zur Bestimmung der Frequenzzahl der Hochfrequenz-Schwingungen die Empfangsspule des Wellenmessers weit von der im Stromkreis *KFM* bezw. *M* eingeschalteten Messhilfsspule entfernt werden musste, um die Koppelung hinreichend lose zu bekommen, solange der betreffende Stromkreis *KFM* widerstandslos war. Wie aber ein relativ kleiner Widerstand (etwa 2 mm Drahtendenabstand im Wasser der städtischen Versorgung), in denselben hineingebracht wurde, musste die Koppelung zwischen der gleichen strahlenden (induzierenden) Messhilfsspule in *M* und der Empfangsspule des Wellenmessers so eng genommen werden, dass eine Glimmerisolation zwischen den betreffenden Spulen notwendig wurde. Dabei war noch der Resonanzpunkt im Wellenmesser gar nicht einmal sicher einstellbar, da der maximale Ausschlag am Wellenmesser-Wattmeter nur etwa 5 % der Skala ausmachte.

Bei Parallelschaltung eines Widerstandes mit der Funkenstrecke wird natürlich ein Teil der Energie, welche im aktiven Lichtbogen zur Erzeugung der Hochfrequenzschwingungen umgewandelt wird, dem betreffenden Lichtbogen entzogen. Nach einer orientierenden Messung war unter sonst gleichen Umständen der Maximalwert der Resonanzkurve, bei parallelgeschaltetem Wasserwiderstand zur Funkenstrecke *F*, 50 bis 60 % desjenigen, den man erhielt, wenn der betreffende Widerstand unendlich gross gemacht wurde. Der fragliche Widerstand war so bemessen, dass, wenn er sich ein wenig verkleinerte (wahrscheinlich durch Erwärmung) der Lichtbogen unregelmässig wurde und dann erlosch.

Es sei nun kurz angedeutet, dass die Frequenz der Hochfrequenzschwingungen, welche bei der in vorliegenden Orientierungsuntersuchungen angewandten Erzeugungsmethode entstanden, ausserordentlich leicht variiert werden konnte. Hatte nämlich die im Leiter *M* eingereihte Messhilfsspule, die mit der Wellenmesserspule gekoppelt war, die Windungszahlen

10, 3, 2, 1, so ergaben sich Wellenlängen von 116, 70, 65 und 62 Meter, also Frequenzen von 2 580 000, 4 280 000, 4 620 000 und 4 850 000 Perioden in der Sekunde. Die weiter oben angegebene Zahl von 500 000 Perioden wurde durch Einschalten der erwähnten Spule erhalten.

Wurde ausser der Messhilfsspule zu 10 Windungen eine kleine zylindrische Spule von 77 Windungen in den Leiter *K* eingeschaltet, so stieg die Wellenlänge auf 785 Meter. Während dieser Messung konnten an der Funkenstrecke *f* Funken von 10 mm Länge erzielt werden, bei Abschaltung der Funkenstrecken *g* und *h* und bei isoliertem Leiter *E*, der in diesem Experiment 1 mm Durchmesser und 7 m Länge hatte. Brachte man das Ende des Leiters von *E* mit der Erdleitung in Verbindung, so stiegen die Funken in *f* auf 16 mm Länge. Die Funkenstrecke in *F* war dabei auf 7 mm eingestellt.

Endlich wurden noch zwei Spulen zu je 60 Windungen d. h. 120 Windungen, hinzugefügt und so die Wellenlänge auf 1235 m erhöht, also die Periodenzahl auf 243 000 Perioden pro Sekunde erniedrigt. Bei isoliertem Leiter *E* sprangen die Funken in *f* über, wenn eine Distanz von $14\,^1/_2$ mm zwischen den Elektroden war. Wurde der Leiter *E* in *h* geerdet, so konnte die Funkenlänge in *f* auf 17 mm erhöht werden, trotzdem die Funkenstrecke *F* auf 7 mm eingestellt blieb.

Zum Schluss sei noch erwähnt, dass das Einschalten einer kleinen zylindrischen Spule von 100 mm Durchmesser und nur 10 Windungen zwischen den Funkenstrecken *F* und *f* eine erhebliche Steigerung der Funkenlänge bei der Verzweigung nach *I* ergibt. Es können auf diese Weise Funken von zirka 15 mm Länge in *f* produziert werden, während die aktiven Funken in *F* bloss etwa 7 bis 10 mm überbrücken.

Ob bei Anwendung der kleinen Maschine nach Abbildung 1 die Funkenlänge in *f* noch vergrössert werden könnte, würde eine systematische Untersuchung ergeben.

Gegenwärtig Schlüsse über die Einwirkung der Selbstinduktion angeben zu wollen, erscheint verfrüht. Es ist gelegentlich der Funke in *F* scheinbar infolge Hinzufügen von Spulen inaktiv geworden, nachdem er unmittelbar vorher aktiv war. Die Aktivität des Funkens hängt manchmal, wie es scheinen möchte, von seiner Laune ab. Der Wert der Erregung der kleinen Maschine, die Tourenzahl, der Abstand der Elektroden in *F* haben natürlich ihren Einfluss. Alle diese Verhältnisse, mit und ohne auf einander abgestimmte Stromkreise, zu erforschen, ist Aufgabe der Zukunft.