9. Über einen Disjunktor für hohe Potentiale; von Friedrich Wolfgang Adler.

Einleitung.

1. Um aus dem im Ruhmkorffschen Induktorium entstehenden Wechselstrom Gleichstrom zu erhalten, werden Vorrichtungen angewandt, die die Stromstöße der einen Richtung an der Ausbildung hindern. Die älteste und bekannteste derselben ist der Dovesche Disjunktor.¹⁾ Derselbe ist wegen der angewendeten Schleifkontakte bei hohen Potentialen nicht anwendbar. Einerseits erfolgt die Unterbrechung im Primärkreise nicht rasch genug; andererseits ist die Isolation des Sekundärkreises nicht ausreichend, und tritt Verbrennen der Kontaktstellen ein.

Ich habe versucht, einen Disjunktor zu konstruieren, der einerseits im Primärkreise die Vorteile des Foucaultschen Interruptors²⁾ zur Anwendung bringt und andererseits im Sekundärkreise genügende Isolation ermöglicht. Letzteres Erfordernis schien mir am besten durch einen entsprechend modifizierten Pohlischen Kommutator³⁾ erfüllt zu werden.

Versetzt man den Bügel W (Fig. 1) dieses Kommutators in Schwingung, so entsteht im Leitungszweige II, IV, II_1 Wechselstrom, falls Q eine Gleichstromquelle ist. Ist Q eine Wechselstromquelle, und stimmt die Schwingungszahl von W mit der Wechselzahl des Stromes überein, so entsteht auf II, IV, II_1 Gleichstrom. Der letztere Fall kommt

Fig. 1.

1) H. W. Dove, Pogg. Ann. **43**. p. 511. 1838; E. Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität. II. Aufl. **4**. p. 6. 1893—98.

2) L. Foucault, Compt. rend. **43**. p. 44. 1856; E. Wiedemann, l. c. **4**. p. 558.

3) Vgl. E. Wiedemann, l. c. **1**. p. 264.

für den Disjunktör in Betracht. An Stelle von Q tritt die Sekundärspule des Induktoriums.

Es kommt nun darauf an, W entsprechend dem Foucaultschen Interruptor im Primärkreise schwingen zu lassen. Wie ersichtlich, wird bei einem solchen Disjunktör zugleich erreicht, daß die *Stromstöße beider* Richtungen zu einem Gleichstrom umgeformt werden.

2. Durch Anlegen einer Leydener Flasche an die Enden der Sekundärspule des Induktoriums gelang es zuerst Masson und Breguet¹⁾, eine Ladung derselben auf diesem Wege vorzunehmen. Sie verwendeten dabei nur *einen* Induktionsstoß, da der nächstfolgende Potentiale entgegengesetzten Vorzeichens hervorgebracht hätte. Sollen mittels des Induktoriums Elektrizitätsmengen hoher Spannung *angesammelt* werden, so dürfen nur Induktionsstöße einer Richtung zur Geltung kommen. Dies kann erreicht werden, wenn man in die Verbindung der einen Belegung mit der Induktionsspule eine Funkenstrecke einschaltet. Da durch den Öffnungsstrom wesentlich höhere Potentiale induziert werden als durch den Schließungsstrom²⁾, ist es möglich, derselben eine solche Länge zu geben, daß nur die ersteren übergehen.

Bei Verwendung des zu beschreibenden Disjunktors erhält man auch die durch den Schließungsstrom induzierten Elektrizitätsmengen.

3. Die Benützung einer Funkenstrecke ist, wie Wüllner³⁾ gezeigt hat, nur bei gewissem Druck der die Funkenstrecke umgebenden Luft, bez. des betreffenden Gases, möglich. Daher ist es — wenn man gleichgerichtete Entladungen in verdünnten Gasen mittelst eines Induktoriums studieren will — nötig, sich außer der Entladungsröhre noch einer Funkenstrecke in Luft, oder eines Disjunktors zu bedienen. Bei Messungen, bei denen man die in der Funkenstrecke stattfindenden, nicht genau bestimmbaren Energieverluste vermeiden will, käme ein Disjunktör der hier angegebenen Art zur Anwendung.

4. An Stelle der Rotation, die den Vorzug des Doveschen

1) A. Masson u. L. F. C. Breguet, Ann. chim. et phys. (3) 4. p. 129. 1842.

2) J. C. Poggendorff, Pogg. Ann. 94. p. 289. 1855.

3) A. Wüllner, Pogg. Ann. 143. p. 321. 1872.

Disjunktors bildet, trat bei vorliegendem Apparat schwingende Bewegung. Auch mit dieser kann eine große Zahl von Unterbrechungen erreicht werden, wie dies beim Foucaultschen Interruptor der Fall ist. Die bei demselben verwendete, unter dem Einfluß eines Elektromagneten schwingende Feder war im Prinzip bei meiner Konstruktion nicht nötig. Ich hatte zwei Elektromagnete zur Verfügung, deren abwechselndes Infunktion-treten einen zweiarmigen Hebel in Schwingungen setzen konnte, war somit auf die Wirkung der elastischen Kraft nicht angewiesen. Ich ließ auch tatsächlich den Hebel um eine gelagerte Achse schwingen. Der Apparat ergab in dieser Ausführung bloß 250, bei starker Inanspruchnahme 500 Unterbrechungen pro Minute. Es zeigte sich aber deutlich, daß bei Gebrauch einer Feder eine weit größere Schwingungszahl zu erreichen gewesen wäre als bei Anwendung gelagerter Achsen.

Der Disjunktor müßte nämlich wesentlich massiver gebaut werden, wenn er in der vorliegenden Montierung eine noch höhere Zahl von Stößen an die Hemmungen ertragen sollte. Würde dagegen der Widerstand der Feder einen Hauptteil der Hemmung bilden, so stünde einer höheren Schwingungszahl kein Hindernis im Wege. Allerdings tritt dadurch eine neue konstruktionselle Schwierigkeit auf. Damit nämlich die elastische Kraft der Federn die Wirkung der Anziehungskraft der Elektromagnete nicht störe, ist es nötig, daß die Feder im Interruptor annähernd dieselbe Schwingungsdauer habe, wie diejenige des Kommutators. Dies läßt sich aber nicht allzu schwer erreichen, und bei einer neuen Konstruktion müßte die Montierung in diesem Sinne abgeändert werden.

Im Folgenden soll der Apparat in seiner jetzigen Form die für praktische Zwecke noch nicht vollkommen geeignet ist beschrieben werden, da das Prinzip durch Änderung der Montierung keine Änderung erfahren würde.

Das bewegende System.

5. Während die Spitze des Interruptorhebels *H* (Fig. 2) die Grenzfläche *ab* zwischen dem Hg und H₂O durchschneidet, muß sich *W* (Fig. 1) im Kommutator in einer der extremen Lagen befinden, damit die induzierte Elektrizität in die Bahn *II*, *IV*, *II*₁ geleitet wird. Während sich die Spitze von *H* (Fig. 2)

in den extremen Lagen *A* oder *B* befindet, passiert *W* (Fig. 1) die Horizontallage.

Die Bewegung von Interruptor und Kommutator läßt sich als die zweier Hebel auffassen, die gleiche Schwingungsdauer haben, zwischen denen aber eine Phasendifferenz von $\frac{1}{4}$ der Schwingungsdauer besteht. Um eine solche Bewegung zu erreichen, habe ich folgende Schaltung vorgenommen, die schematisch in Fig. 3 skizziert ist. Der Hebel *ab* (dem Interruptor angehörig) ist um *o* aus der Lage 1 über 2 nach 3, der

Fig. 2.

Fig. 3.

Hebel $a_1 b_1$ (dem Kommutator angehörig) ist um o_1 aus der Lage 1₁ über 2₁ nach 3₁ drehbar. Auf jedem Hebelarm ist ein weiches Eisenstück (F_1, F_2, F_3, F_4) befestigt, das beim Infunktiontreten des darüber befindlichen Elektromagneten (M_1, M_2, M_3, M_4) Anziehung erfährt. An den Hebeln sind die Stahlstäbe ($S_1, S_2, S_4, S_5, S_3, S_6$) befestigt, und zwar letztere zwei durch Ebonit von der Metallstange $a_1 b_1$ isoliert. Die sechs Stahlstäbe dienen als Unterbrecher in den sechs Glasgefäßen $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6$, die bis zu der durch die punktierten Linien angegebenen Höhe mit Hg gefüllt sind. Und zwar sind G_1, G_2, G_4, G_5 so weit gefüllt, daß gerade kein Kontakt mehr zwischen Hg und S_1, S_2, S_4, S_5 besteht, wenn sich ab in der Lage 2 und $a_1 b_1$ in der Lage 2₁ befindet; G_3 bez. G_6 soweit, daß etwas, bevor die Lage 3₁ bez. 1₁ eintritt, der Kontakt zwischen Hg und S_3 bez. S_6 aufhört. Die Leitungen des Stromes, der von der Batterie *E* ausgeht und das ganze System in Bewegung setzt, sind aus Fig. 3 ersichtlich.

Die Art des Funktionierens des Systems kann man aus

folgenden Angaben erkennen. Beim Einschalten des Stromes mögen die Lagen 2 und 1_1 bestehen. Der Strom geht durch die Verbindung $E o_1 G_4 M_2 o E$; der Elektromagnet M_2 zieht F_2 an, wodurch momentan Kontakt in G_1 auftritt, der die Verbindung $E o G_1 G_8 M_3 o_1 E$ zur Folge hat, die M_3 in Funktion setzt. Während M_2 Verschiebung von 2 nach 1 bewirkt, veranlaßt M_3 diejenige von 1_1 nach 2_1 . Durch letztere Bewegung hört der Kontakt in G_4 und damit auch die Wirksamkeit von M_2 auf. Da M_3 aber weiter in Funktion bleibt, so tritt im nächsten Moment Kontakt in G_5 ein und durch die Verbindung $E o_1 G_5 M_1 o E$ tritt M_1 in Funktion. Dieses bewirkt die Verschiebung von 1 nach 2, während gleichzeitig diejenige von 2_1 nach 3_1 eintritt. Die Verbindung durch M_3 wird einen Moment, bevor 3_1 erreicht ist, in G_3 unterbrochen, damit die infolge Kontakt in G_2 auftretende Verbindung $E o_1 M_4 G_6 G_2 o E$ durch M_4 sofort in Wirksamkeit treten kann. M_4 bewirkt die Verschiebung von 3_1 nach 2_1 , während gleichzeitig diejenige von 2 nach 3 eintritt. Durch Unterbrechung in G_5 tritt M_1 außer Funktion, während fast gleichzeitig die Verbindung $E o_1 G_4 M_2 o E$ wieder entsteht, die die Verschiebung von 3 nach 2 bewirkt, während gleichzeitig diejenige von 2_1 nach 1_1 eintritt. Einen Moment, bevor 1_1 erreicht ist, hört die Verbindung in G_6 auf, und damit tritt M_4 außer Funktion. Der anfängliche Zustand ist wieder erreicht und das Spiel beginnt von neuem.

Die Unterbrechungsstellen in G_3 und G_6 sind nur durch den besonderen Zweck der Anordnung erforderlich; die gewünschte Bewegung würde auch eintreten, wenn die Verbindung von G_1 direkt nach M_3 und von G_2 nach M_4 ginge, wodurch G_3 , G_6 und mit ihnen S_3 , S_6 überflüssig würden. Da es sich beim Kommutator in gewissen Fällen aber darum handelt, daß der Kontakt von W (Fig. 1) in *II*, *II*₁ bez. *III*, *III*₁ möglichst kurzdauernd sei, wurde diese Anordnung getroffen. Dieselbe bewirkt zugleich, daß im Momente des Durchganges von ab durch die Lage 2 die Wirksamkeit von M_1 bez. M_2 ein Maximum ist, da der Nebenschluß aufgehoben ist, was der Größe der Wirkung des Interruptors zugute kommt. Man hätte im Interesse eines rascheren Ganges des Apparates dieselbe Einrichtung bezüglich M_1 und M_2 einführen können,

indem man zwischen M_1 und G_5 bez. M_2 und G_4 eine Unterbrechungsstelle hätte einschalten können, deren Stahlstab von ao (bez. ob) hätte ausgehen müssen. Die Hinzufügung dieser zwei Unterbrechungsstellen schien mir aber, da für den vorliegenden Zweck nicht unbedingt nötig, den Apparat überflüssig zu komplizieren.

Der Interruptor.

6. Der Interruptor hat die in Figg.¹⁾ 4 und 5 dargestellte Form und zwar ist letztere Figur der Schnitt $\alpha\beta$ der ersteren, und diese der Schnitt $\gamma\delta$ der letzteren.

Die Glasgefäße G_1 und G_2 , die dazu gehörigen Stahlstäbe S_1 und S_2 , die Elektromagneten M_1 und M_2 gehören dem bewegenden System an und werden gemäß dem Schema

Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 3 mit den entsprechenden Teilen des Kommutators verbunden.

Der Drehpunkt o des Hebels ist unter die Stange ab verlegt, um den Schwingungsbogen möglichst normal auf die Hg-Oberfläche zu machen. Die Stromzuführung von E zum Punkte o und von da weiter durch ab nach S_1 und S_2 erfolgt durch das Gestell T (Fig. 5), in das der Hebel gelagert ist. Ebenso führt dahin die Leitung von den Elektromagneten M_1

1) Die Figg. 4–9 sind sämtlich in $\frac{1}{7}$ der natürl. Größe dargestellt.

und M_2 , wie sie nach Schema Fig. 3 erforderlich ist. M_1 wirkt auch an dem Arm ob und deshalb nach unten, wodurch nur ein weiches Eisenstück (F) an Stelle von F_1 und F_2 (Fig. 3) tritt. Die Unterbrechung des Stromes in der Primärspule des Induktoriums (P), der von der Batterie E_1 geliefert wird, findet in dem Glasgefäße g_1 statt. Dasselbe ist mit Hg soweit gefüllt, daß bei der Horizontallage von cab Kontakt desselben mit dem Stahlstab s_1 eintritt. s_1 ist von ca durch einen Ebonitklotz getrennt. Die Weiterleitung des Stromes geht von s_1 durch den Kupferdraht k nach s_2 , welches sich in dauerndem Kontakt mit dem Hg in g_2 befindet.

Der Kommutator.

7. Der Kommutator ist in den Figg. 6, 7, 8 und 9 dargestellt. Fig. 7 ist der Schnitt $\alpha\alpha_1$, Fig. 8 die Schnitte $\beta\beta_1$ und Fig. 9 der Schnitt $\gamma\gamma_1$ der Fig. 6. Und zwar ist von jedem dieser Schnitte wegen der vollkommenen Symmetrie nur

Fig. 6.

Fig. 7.

die Hälfte gezeichnet. Fig. 6 ist der in den Figg. 7, 8, 9 angegebene Schnitt $\delta\delta_1$.

Ein Bügel (entsprechend W in Fig. 1) ist fest verbunden mit dem Hebel ($a_1 b_1$) des bewegenden Systems und schwingt mit ihm um eine gemeinsame Achse der Richtung vw (Fig. 6). Die Achse ist vierfach gelagert; einerseits in die Metall-

kugeln I , I_1 (Figg. 6 und 7), wodurch zugleich auch die Verbindung mit der Sekundärspule des Induktoriums hergestellt wird, andererseits in die Metallstange V . Die Arme des Bügels werden durch die zwei Messingstangen A (Figg. 6, 8) gebildet, deren jede in der Mitte mit dem Metallstab B (Figg. 6, 7) verbunden ist, der einerseits in eine Schraube, andererseits in eine Spitze endigt. Jeder Arm des Bügels trägt eine eingeschraubte Stahlkugel c (Figg. 6, 8), die für gewisse Fälle durch eine Stahlspitze ersetzt werden kann. Die A sind von einander und von dem bewegenden System durch die Ebonit-

Fig. 8.

Fig. 9.

zylinder D (Figg. 6, 7) isoliert. Der Hebel $a_1 b_1$ bildet in der Mitte einen ellipsenförmigen Ring R (Fig. 6); durch denselben sind die Stahlstäbe E geschraubt, deren Spitze in V lagert und deren anderes Ende in D eingeschraubt ist. E ist beiderseits an R mit Muttern befestigt. Die Schrauben von B und E sind in D durch kleine Querstäbe festgerammt, von denen diejenigen, die B befestigen, in kleine Kugeln endigen, um Spitzenwirkungen zu verhüten. Die Lager, in denen die Achse schwingt, bestehen aus Stahl, diejenigen in V sind fest, die in I und I_1 sind die Enden der Schrauben, die andererseits

in die kleinen Kugeln v und w ausgehen. Am Ring R ist ein Fortsatz u (Fig. 7) angebracht, der, indem er an zwei Schrauben, die mit V verbunden sind, anschlägt, als Hemmung wirkt. Auf der Achse $a_1 b_1$ sind die Eisenstücke $F_3 F_4$ und die Ebonitklötze $H_1 H_2$ befestigt (Figg. 6, 9). In letztere ist je ein Stahlstab (S_3 und S_6) eingesetzt, sowie zwei Stahlstäbe S_4 und S_5 direkt in $a_1 b_1$ (Fig. 9). Die Stromzuführung nach S_4 und S_5 erfolgt direkt durch $a_1 b_1$, während die nach S_3 und S_6 durch isolierte Drähte erfolgt, die an R befestigt sind und von hier aus eine Spirale bildend nach den Elektromagneten führen, so daß sie den Gang des Apparates nicht stören. Die Glasgefäße G_3, G_4, G_5, G_6 , in denen S_3, S_4, S_5, S_6 Unterbrechungen bewirken, stehen auf einem Ständer (Fig. 9), der an dem Holzgestell K des ganzen Apparates befestigt ist. Die Elektromagnete M_3, M_4 hängen an einem Eisengestell L (Fig. 9).

Die sechs Hg-Näpfe ($I, I_1, II, II_1, III, III_1$) der Fig. 1 sind durch sechs Messingkugeln im Kommutator ersetzt. Diejenigen zwei (I, I_1), die die dauernde Verbindung der Sekundärspule mit den Bügel vermitteln, sind in der in Fig. 7 ersichtlichen Weise auf Glasstangen N aufgesetzt. Die anderen vier (II, II_1, III, III_1) haben die aus Fig. 8 entnehmbare Gestalt. Sie sind auf Glasstangen P aufgesetzt und haben in die obere Hälfte einen Stahlnapf Q eingeschraubt, der zur Aufnahme von Hg dient und mittels eines Schlüssels herausgeschraubt werden kann, um das Hg bequem zu leeren. In jede der sechs Kugeln ist je eine Schraube, die in eine kleine Kugel o (Figg. 6, 7) endigt, eingeschraubt, um Kontakt mit der Weiterleitung herzustellen. Die Verbindungen von II nach III_1 und von II_1 nach III werden mittels Drähten, die gut isoliert außen um das Instrument herumgeführt werden, hergestellt.

Die Verwendung des Apparates.

8. Das bewegende System hatte einen Widerstand von etwas über 2Ω , da als Stromstärke 2,5 bis 3 Amp. genügte, wäre eine Batterie von 6 Volt zum Betrieb des Apparates ausreichend gewesen. Ich überzeugte mich aber, daß bei Verwendung einer größeren Batterie und entsprechendem Vorschaltwiderstand ein gleichmäßigerer und ruhigerer Gang des Apparates zu erzielen war. Gegenüber einem großen Vor-

schaltwiderstand kommen nämlich die kleinen Schwankungen des Widerstandes, die durch die verschiedene Kombination der einzelnen Teile des Leitungskreises entstehen, nicht in Betracht. Ich verwendete deshalb 20 Ω Vorschaltwiderstand und 60 Volt. Die Verstärkung des Stromes in den Elektromagneten M_1 und M_2 (Fig. 3), die durch Unterbrechung in G_8 , bez. G_6 entsteht, ist auch um so größer, je größer der Vorschaltwiderstand W ist. Es besteht nämlich folgende Beziehung zwischen der Stromstärke i in einem Leiterstück vom Widerstand w , angehörend einem einfach geschlossenen Kreise, und der Stromstärke i' , wenn an die Enden des Leiterstückes ein Nebenschluß von gleichem Widerstande w gelegt wird:

$$\frac{i}{i'} = \frac{2 W + w}{W + w}.$$

Der Disjunktork erfährt eine Modifikation, je nachdem ob er für Wechselströme oder zur Ansammlung von Elektrizität verwendet werden soll. Im ersteren Falle treten an Stelle der Kugeln c (Fig. 8) Stahlspitzen; die Stahlnäpfe werden mit Hg gefüllt, und die Hemmungen werden so eingestellt, daß Kontakt des Hg mit der Stahlspitze stattfinden kann. Im zweiten Fall sind sie so eingestellt, daß z. B. in II und III_1 Kontakt entsteht, in II_1 und III aber Funkenstrecken bestehen, wobei die Kugeln c Verwendung finden und das Hg überflüssig wird.

Der Apparat wurde von der Firma G. Zulauf & Cie. in Zürich nach meinen Zeichnungen mit dankenswerter Präzision hergestellt.

Zürich, Phys. Inst. d. Universität, im Oktober 1904.

(Eingegangen 30. Oktober 1904.)