DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Dritter Jahrgang.

11. Juni 1915.

Heft 24.

Die Unterbrechung elektrischer Ströme mit kleinem Kontakthube.

(Neue Erklärungen und Verfahren.)

Von Dr. W. Burstyn, Berlin.

Es gibt zwei grundsätzlich verschiedene Verfahren, einen elektrischen Strom zu unterbrechen: Das eine besteht darin, den bei der Öffnung eines Schalters entstehenden Lichtbogen so in die Länge zu ziehen, daß er sich nicht mehr aufrecht erhalten kann; bei dem anderen werden die Kontakte des Schalters nur ganz wenig geöffnet, und das Erlöschen des Lichtbogens wird durch besondere Mittel erreicht, die den Gegenstand des vorliegenden Aufsatzes bilden sollen.

Das erstgenannte Verfahren ist gewissermaßen das brutalere. Es ist bei allen gewöhnlichen Dreh- und Hebelschaltern in Anwendung; auch die Schalter mit Blasmagnet, Hörnerblitzableiter und dergleichen, bei denen der Lichtbogen durch Ablenkung viel länger gemacht wird als der Abstand der Schalterkontakte, gehören hierher. Bei kleinen Stromstärken und in besonderen Fällen sind die beiden Unterbrechungsarten allerdings nicht unterscheidbar.

Im folgenden sollen nur Stromkreise in Betracht gezogen werden, deren Belastung aus reinem Ohmschen Widerstande besteht, die also keine Selbstinduktionsspule enthalten. Das Einfügen einer solchen, z. B. eines Elektromagneten oder der Primärspule eines Funkeninduktors, macht die Erscheinungen verwickelter, da die in der Spule enthaltene magnetische Energie beim Unterbrechen des Stromes ähnlich wirkt wie eine Masse beim plötzlichen Aufhalten einer Bewegung. Sie erzeugt höhere Spannungen als die der eigentlichen Stromquellen und muß während des Ausschaltvorganges erst vernichtet werden, größtenteils im Unterbrechungslichtbogen selbst. Da die dadurch entstehenden Komplikationen den Ausschaltvorgang hauptsächlich nur zeitlich verzögern, nicht aber seiner Art nach ändern, können sie hier außer acht gelassen werden.

Wenn man einen selbstinduktionsfreien Gleichstromkreis durch einen mit Platinelektroden versehenen Taster zu unterbrechen versucht, findet man, daß bis zu Spannungen von ungefähr 35 Volt sich jede Stromstärke, und wären es selbst 100 Ampère, schon mit dem kleinsten Luftwege ausschalten läßt. Man sieht an der Unterbrechungsstelle nur ein Fünkchen, und auch dieses ist nur dem unvermeidlichen Reste von Selbstinduktion zuzuschreiben. Bei Steigerung der Spannung merkt man aber, daß die Ströme, welche sich noch mit unendlich kleinem Schaltwege, also ohne Bildung eines

Unterbrechungslichtbogens, öffnen lassen, immer kleiner und kleiner werden, bis schließlich bei einer Spannung von über 320 Volt selbst ein Strom von $\frac{1}{100}$ Ampère schon einen merkbaren Lichtbogen erzeugt.

Elektroden aus Metallen, wie Silber, Kupfer oder Eisen, zeigen im wesentlichen dieselben Erscheinungen, nur mit dem Unterschiede, daß die Grenzstromstärke, welche sich bei einer bestimmten Spannung noch eben lichtbogenfrei unterbrechen läßt, verschieden ist.

Jene Spannung, bei der sich ein beliebig großer Strom noch lichtbogenfrei ausschalten läßt, entspricht der Lichtbogenspannung, jene, bei der selbst ein beliebig kleiner Strom bereits einen Lichtbogen bildet, dem Kathodengefälle. Genau genommen, ist die Entladungserscheinung, die bei Spannungen oberhalb des Kathodengefälles und bei geringen Stromstärken auftritt, kein Lichtbogen, sondern Glimmlicht, das im Gegensatze zum Metallspektrum des Bogens das Stickstoffspektrum zeigt und sich daher schon für das bloße Auge durch seine violette Farbe von dem gelblichen Lichtbogen unterscheidet. Daß das meistens in Geißlerschen Vakuumröhren beobachtete und untersuchte Glimmlicht auch in Luft von atmosphärischem Druck erhalten werden kann, ist wenig bekannt.

Wie durch eingehende Untersuchungen nachgewiesen worden ist, läßt sich ein Lichtbogen nur aufrecht erhalten, wenn sein Kathodenfußpunkt geschmolzen oder wenigstens glühend ist. Die Temperatur der Anode hingegen ist gleichgültig. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, daß der Lichtbogen zu seinem Bestehen dauernd Elektronen benötigt, welche die negative Elektrode (Kathode) nur dann zu liefern vermag, wenn sie eine hohe Temperatur besitzt. Folgender einfacher Versuch beweist dies: Man benützt für einen Lichtbogen von etwa 2 Ampère als eine Elektrode eine Platte oder Schiene, als andere ein Drahtende oder dergleichen; bewegt man letztere Elektrode unter Innehaltung eines Abstandes von wenigen Millimetern an ersterer entlang, so bleibt der Lichtbogen brennen, wenn die bewegte Elektrode Kathode ist, indem der Anodenfußpunkt auf der Schiene ohne Schwierigkeit wandert. Ist hingegen die Schiene Kathode, so folgt der Fußpunkt nicht (oder nur sehr langsam) und der Lichtbogen erlischt. Diese Probe ist in vielen Fällen, z. B. beim Inbetriebsetzen einer Poulsenlampe, das bequemste Mittel, um die Stromrichtung festzustellen, da man keine besonderen Apparate dazu benötigt¹⁾.

¹⁾ Ein Demonstrationsapparat für diesen Versuch wird von der Firma Paul Firchow Nachfr., Berlin, hergestellt.

Der Lichtbogen selbst ist es, der den Kathodenfußpunkt dauernd in Glut erhält. Wenn der Strom auch nur einen Augenblick lang aussetzt, so kühlen die umgebenden Metallmassen den Krater so stark ab, daß der Lichtbogen bei neuem Einsetzen des Stromes nicht wieder zündet, vorausgesetzt, daß die Spannung nicht zum Durchschlagen des Zwischenraumes ausreicht. Die erforderliche Abkühlungszeit beträgt beim Kohlenlichtbogen etwa $\frac{1}{20}$ Sekunde, bei den größten Scheinwerferbogenlampen sogar bis zu einer Sekunde, bei Metallelektroden zählt sie unter günstigen Umständen (schwachkonvexe Silberelektroden nach Art von Löschfunkenstrecken) nur nach milliontel Sekunden.

Der technische Wechselstrom ist ein Strom, der im Verlauf einer Sekunde hundertmal auf den Wert Null sinkt. Es ist in der Tat möglich, einen solchen Wechselstrom, etwa von 220 Volt und 30 Ampère, zwischen zwei Kupferdrahtenden fast funkenlos zu unterbrechen, wenn man die Vorsicht gebraucht, die Elektroden langsam voneinander zu entfernen. Reißt man sie dagegen auseinander, so wird man nur zufällig das Stromminimum treffen und erhält fast immer einen langen kräftigen Lichtbogen.

Ein Schalter mit schwachkonvexen Silberelektroden erlaubt bei langsamer Öffnung die Unterbrechung eines Wechselstromes von 500 Volt und über 150 Ampère, ohne daß mehr als ein kleines Fünkchen zu sehen ist. Schalter dieser Art¹⁾ werden neuerdings für Schaltuhren und ähnliche Zwecke praktisch verwendet. Wenn die Spannung mehr als 500 Volt beträgt, müssen entsprechend viele Schalter in Reihe gelegt und gleichzeitig geöffnet werden. Vor Ölschaltern, wie sie allgemein für diesen Zweck benützt werden, hat ein solcher Schalter wesentliche Vorteile.

Der Wechselstrom geht eigentlich nur einen unendlich kurzen Augenblick wirklich durch Null. Daß er sich zwischen gut löschenden Elektroden dennoch sicher unterbrechen läßt, beruht auf der oben erwähnten Erscheinung, daß ein Metalllichtbogen unterhalb einer gewissen Spannung überhaupt nicht entstehen kann. Die gegen elektromotorische Kraft des Unterbrechungslichtbogens drückt also den Strom schon dann auf Null herunter, wenn die Klemmenspannung auf etwa 40 Volt gesunken ist.

Noch leichter als ein Wechselstrom läßt sich ein unzuliegender Strom unterbrechen, dessen Spannung zwischen einem Maximum und Null (oder besser noch etwas darunter) schwankt.

Es ist nun eigentlich naheliegend, auch bei Gleichstrom ein Auslösen des Lichtbogens dadurch zu bewerkstelligen, daß man ihm im Augenblicke, wo ein Schalter geöffnet wird, einen Wechselstrom überlagert; diese Überlagerung braucht man natürlich nur an dem Stücke des Gleichstromes vorzunehmen, der im Schalter fließt.

In der Tat ist dieses Mittel unbewußt in An-

wendung, und zwar beruht darauf die Wirkung des nach *Fizeau* benannten Löschkondensators, der z. B. den Unterbrechern für Funkeninduktoren parallel gelegt wird. Früher erklärte man die Wirkung dieses Kondensators so, daß er als Nebenschluß den Strom so lange verschluckt, bis der Schalter sich hinreichend geöffnet hat. Es ist klar, daß diese Theorie nicht in allen Fällen zutreffend sein kann, in denen man beim Öffnen überhaupt noch ein Fünkchen bemerkt. Der Vorgang verläuft in Wirklichkeit fast immer folgendermaßen: Beim Öffnen des Schalters bildet sich zunächst ein kurzer Lichtbogen, der in dem parallelen Kondensatorkreise nach Art einer Poulsenlampe Schwingungen hervorruft. Die Wellenlänge derselben ist von derselben Größenordnung wie der in der drahtlosen Telegraphie benützten; denn ein Kondensator von 1 Mikrofarad gibt mit einer Zuleitung von einigen Zentimetern Länge bereits eine Welle von einigen hundert Metern. Die Schwingungen erreichen nach einer oder mehreren halben Wellen eine Stromstärke, die die des Gleichstromes übertrifft, so daß der Strom im Lichtbogen auf einen Augenblick zu Null herabgedrückt und der Lichtbogen zum Erlöschen gebracht wird. Das Auftreten der Schwingungen läßt sich durch folgenden Versuch zeigen: Einem Taster wird ein Löschkondensatorkreis parallel geschaltet, der auch noch eine flache Selbstinduktionsspule von einer oder mehreren Windungen enthält; man stellt die Stromstärke so ein, daß Löschung gerade noch mit Sicherheit zustande kommt. Nähert man dann der Spule ein Neusilberblech, so bleibt beim Öffnen der Bogen brennen, erlischt aber, wenn er nicht zu lang ist, sowie man das Blech wieder entfernt. Ein dünnes Kupferblech hat dieselbe Wirkung, nicht aber ein dickes Kupferblech, weil es nur die Selbstinduktion der Spule vermindert, ihre Dämpfung aber nicht wesentlich vermehrt. Als praktische Folge ergibt sich daraus, daß Ohmsche Widerstände, d. h. Dämpfungen jeder Art Übergangswiderstände, dielektrische und andere Verluste im Kondensator, vermieden werden müssen; eine Dämpfung von der Größenordnung 0,1, die bei größeren Kapazitäten schon durch Bruchteile eines Ohms herbeigeführt wird, vermindert die Löschwirkung bereits beträchtlich.

An die Elektroden des Schalters werden bei diesem Löschvorgange ungefähr dieselben Ansprüche gestellt wie an die Löschfunkenstrecken der drahtlosen Telegraphie, d. h. die Elektroden müssen eine möglichst steile Lichtbogencharakteristik und möglichst gute Kühlung besitzen. Am günstigsten sind schwachkonvexe Scheiben aus Silber oder silberbedecktem Kupfer. Versuche haben ferner gezeigt, daß es für die Löschwirkung eines Kondensators eine bestimmte günstigste Wellenlänge gibt, die von der Größe der verwendeten Kapazität und dem Elektrodenmaterial abhängt.

Bei Anwendung von Silberelektroden kann man mit einem Kondensator von 0,3 Mikrofarad bestenfalls einen Gleichstrom von ungefähr 15 Ampère bei 220 Volt unterbrechen, jedoch nicht mehr ganz

1) Patent angemeldet.

zuverlässig. Größere Stromstärken erfordern unverhältnismäßig größere Kondensatoren.

Viel günstiger sind neue vom Verfasser ausgearbeitete Verfahren¹⁾, bei denen die Schalterelektroden sich nicht erst selbst die die Löschung bewirkenden Schwingungen erzeugen müssen. Die einfachste Anordnung zeigt Fig. 1.

Es bedeutet in derselben:

a den Stromverbraucher (Lampen, einen Funkeninduktor oder dergleichen),

u einen Umschalter, dessen oberer Kontakt den eigentlichen Schalter darstellt und schwachkonvexe Silberelektroden besitzt, während für den unteren Kontakt besser Platin gewählt wird,

c einen Kondensator,

l eine kleine, eisenfreie Selbstinduktionsspule, die auch durch die Zuleitung ersetzt sein kann,

w einen hohen Vorschaltwiderstand.

Bei geschlossenem Hauptstrom lädt sich der Kondensator *c* über den Widerstand *w* im Nebenschlusse zum Stromverbraucher *a* an der Spannung des Gleichstromnetzes auf. Wenn man den Schalter *u* öffnet, entsteht an ihm zunächst ein Lichtbogen. Sowie der Hebel aber die andere Seite berührt (der Hub darf nur ungefähr $\frac{1}{2}$ mm betragen),

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

entlädt sich der Kondensator *c* durch den Lichtbogen in Form einer schnellen Schwingung, und zwar ist, wie die Überlegung zeigt, die Stromrichtung der ersten halben Welle der des Hauptstromes im Lichtbogen entgegengesetzt. Wenn der Schwingungsstrom stark genug ist, sinkt daher einen Augenblick lang die resultierende Stromstärke im Lichtbogen auf Null und derselbe löscht aus. Die Ströme, die sich auf diese Weise unterbrechen lassen, sind bei Anwendung derselben Kondensatoren mehrmals größer als bei der alten Schaltung. Es ist dabei notwendig, daß die Amplitude der Kondensatorschwingung genau gleich der Stärke des Gleichstromes ist; sie kann ohne Schaden größer sein, nur muß die Schwächung des Lichtbogenstromes eine gewisse Zeit dauern, d. h., die Schwingung darf keine zu kurze Wellenlänge besitzen. Zu diesem Zwecke ist die Selbstinduktionsspule *l* eingefügt.

Wenn besonders starke Ströme (über 50 Ampère) häufig (mehrmals in der Sekunde) zu unterbrechen sind, benutzt man besser die Schaltung nach Fig. 2.

¹⁾ D. R. P. Nr. 260 903, 268 889 und 269 254; dieselben sind im Besitze der Firma Paul Firchow Nachfolg., Berlin, welche automatische Schalter und Demonstrationsapparate nach diesen Patenten liefert.

Der den Löschstrom schließende Schalter ist hier durch einen dauernd laufenden Unterbrecher *r* ersetzt, wofür man am besten eine Quecksilberturbine nimmt. Wenn man den Hauptschalter *u* öffnet, kommt auf die kritische Bogenlänge von einigen zehntel Millimetern mit Sicherheit einer der vom Unterbrecher erzeugten Stromstöße und bewirkt die Löschung des Lichtbogens. Bei dieser Anordnung genügt bis zu beträchtlichen Stromstärken, etwa 30 Ampère, statt eines Schalters mit schwachkonvexen Elektroden ein gewöhnlicher Handschalter mit Messerkontakten, vorausgesetzt, daß man ihn nicht zu schnell öffnet.

Durch einen ganz besonderen Kunstgriff ist man imstande, den Öffnungslichtbogen bei Gleichstrom vollständig zu vermeiden, also selbst bei starken Strömen den Schalter zu öffnen, ohne daß auch nur ein Fünkchen sichtbar würde. Die verwendete Anordnung zeigt Fig. 3.

Ein Hebel *o* wird durch eine Feder gegen den festen Kontakt *s* gedrückt. Mit einem zweiten Hebel *m* schlägt man gegen ersteren Hebel, wodurch der Kondensatorkreis geschlossen und einen Augenblick später der Kontakt *s* geöffnet wird. Ist dieser kleine, durch die Elastizität des Hebels *o*

definierte, Zeitzwischenraum ungefähr gleich einem Viertel der Schwingungsdauer des Kondensatorkreises und ist die Entladestärke des Kondensators richtig gewählt, so ist der Schalter im Augenblicke des Öffnens stromlos und die Öffnung des Schalters vollzieht sich daher ohne Lichtbogen.

Letzteres Verfahren ist wegen der erforderlichen genauen Abstufung zur praktischen Verwendung nicht geeignet. Es bedeutet auch gegenüber der Schaltung nach Fig. 1 keine wesentlichen Vorteile, da der kurzdauernde Lichtbogen beim schnellen Übergange des Schalters von der einen zur anderen Stellung die Kontakte fast gar nicht angreift.

Fiktion und Hypothese.

Von Dr. M. Kronenberg, Berlin.

(Schluß.)

Indessen ist es nun doch weniger die Hypothese als die Fiktion, mit der sich das Vaihingersche Werk überwiegend beschäftigt, die er nicht nur in den Mittelpunkt der Logik, sondern aller Wissenschaft stellt und zum tragenden Prinzip einer eigenen philosophischen Stellungnahme