

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 29 (1938)
Heft: 5

Artikel: Der Zentrifugalanlasser mit Kugelkontakten
Autor: Puppikofer, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059368>

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: 17.02.2026

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

revisionsfähiger Batterien. Diese müssen nach gemachten Erfahrungen zum Ausgleichen der Säure alle 6 Monate an die Ladestationen eingeliefert werden.

Das Mitführen von Notlampen in den Wagen konnte in den Inlandwagen unterdrückt und auf die nach dem Ausland verkehrenden Wagen beschränkt werden.

Die grosse Verwendungsfreiheit der Wagen bei Ausrüstung jedes einzelnen mit einer Dynamo und die mit solchen Beleuchtungsanlagen in jeder Beziehung gemachten guten Erfahrungen brachten es denn auch mit sich, dass bei Einführung der elektrischen Zugsförderung die Speisung der Wagenbeleuchtung vom Fahrdrabt aus nicht mehr in Frage kam.

Der Zentrifugalanlasser mit Kugelkontakten.

Von H. Puppikofer, Zürich-Oerlikon.

621.316.717 : 621.313.333

Es wird ein Ueberblick gegeben über die wichtigsten automatischen Vorrichtungen zum Anlassen von Asynchronmotoren (Zentrifugalanlasser), die im Laufe der Jahre, seit 1896, auf den Markt kamen. Hierauf wird der neue Zentrifugalanlasser der Maschinenfabrik Oerlikon zum «Combi-Motor» beschrieben. Dieser Anlasser besitzt ein Kniehebel-element und als Kontaktstücke Kugeln, die in einem Korb frei beweglich sind.

L'auteur donne un aperçu des principaux types de dispositifs automatiques de démarrage pour moteurs asynchrones (démarrateurs à force centrifuge) lancés sur le marché depuis 1896. Il décrit ensuite le nouveau dispositif à force centrifuge des Ateliers de Construction Oerlikon destiné au «moteur-combi». Ce dispositif présente un élément à levier coudé et, comme pièces de contact, des billes pouvant se mouvoir librement dans une cage.

Rückblick.

Seitdem man Asynchronmotoren mit gewickeltem Rotor baut, ist es üblich geworden, sie anzulassen durch stufenweise Abschaltung von Widerständen im Rotorkreis, die so bemessen sind, dass genügend Anlaufmoment vorhanden ist, ohne dass der Einschaltstromstoss für das Netz zu grosse Werte annehmen kann. Sehr bald kam der Wunsch auf, diesen Vorgang automatisch zu gestalten, um unabhängig vom Vorhandensein von geschultem Personal stets den günstigsten Anlauf zu erzielen. Grundsätzlich sind dabei zwei Wege gangbar. Man kann den Anlasser mit einem elektrischen Antrieb versehen und die Weiterschaltung von Relais aus steuern, welche auf bestimmte Anlaufzeiten oder auf bestimmte Minimalwerte des Stromes eingestellt sind. Diese Lösung setzt am Rotor Schleifringe voraus und benötigt zwischen dem Anlasser und dem Motor Leitungen im Rotorkreis und ausserdem noch separate Relais und Steuerleitungen. Sie wurde speziell in USA angewendet. Für kleinere und mittlere Motoren zog man in Europa vor, die Widerstände am Rotor anzubauen und mitrotieren zu lassen. Sowohl für die Steuerung als auch für den Antrieb der Schaltkontakte wurde die Zentrifugalkraft benützt. Der Zentrifugalanlasser besteht demnach aus dem Stufenwiderstand und einigen Zentrifugalschaltern als Schaltelemente.

Wahrscheinlich die älteste feststellbare Konstruktion eines Zentrifugalanlassers ist angegeben im DRP 91135 von Siemens & Halske aus dem Jahre 1896. Dort sind allerdings keine Widerstände vorhanden, da der Motor nach der Schaltung von Goerges (DRP 82016 von 1894) auf dem Rotor zwei Wicklungen verschiedener Windungszahl aufwies, die zuerst einander entgegengeschaltet und durch den Zentrifugalschalter parallelgeschaltet, resp. kurzgeschlossen wurden. Die Zentrifugalschaltelemente bestanden aus einarmigen Hebeln, die von der Zentrifugalkraft entgegen dem Zuge einer Feder nach aussen gegen die festen Kontakte geschleudert wurden. Wichtig ist dabei, dass die Schaltung,

d. h. das Springen des Kontaktes, bei einer bestimmten Drehzahl plötzlich und unaufhaltsam erfolgt und dass das Zurückfallen beim Auslauf des Motors erst bei einer Drehzahl eintritt, die möglichst weit unterhalb der Springdrehzahl ist, damit man den betreffenden Motor bei Ueberlast möglichst nahe an die Kippgrenze ausnützen kann. Bei den ersten Zentrifugalschaltern waren diese Forderungen nicht restlos erfüllt, und so wurden 1902 von Schuckert & Co. nach DRP 133339 für die Feststellung der Drehzahl und die Kontaktbetäti-

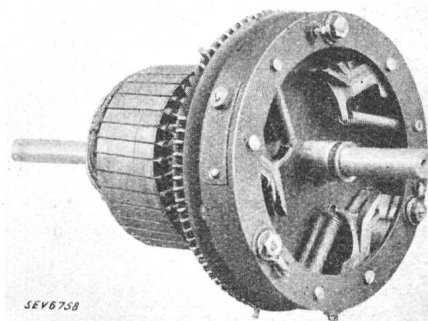


Fig. 1.
Bruncken-Rotor (1908).

gung getrennte Fliehgewichte verwendet. Erst 1908 wurde das Problem konstruktiv richtig angepackt durch Johannes Bruncken in Köln¹⁾ (siehe Fig. 2).

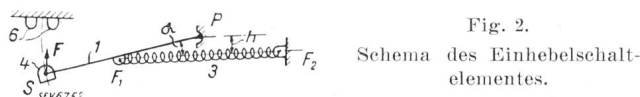
Nach der bekannten Formel

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2$$

wächst die Zentrifugalkraft F bei einer bestimmten Masse m und Winkelgeschwindigkeit ω proportional mit dem Radius r des Schwerpunktes der Masse m . Um ein präzises sprunghaftes Schalten der Kontakte zu haben, muss daher dafür gesorgt werden, dass mit der Bewegung des Fliehgewichtes nach aussen das Drehmoment der Gegenfeder nicht oder nur wenig zunimmt. Es wird dies dadurch er-

¹⁾ Der Selbstanlassmotor im Ziegeleibetrieb in Zeitschrift «Die schweiz. Tonwarenindustrie» vom 5. Jan. 1913.

reicht, dass man in Fig. 2 die Richtung der Federkraft 3 die Verbindungsgerade zwischen dem Schwerpunkt S und dem Drehpunkt P in einem spitzen Winkel α schneiden lässt. Der Angriffspunkt F_1 der Feder am Hebel 1 beschreibt einen Kreisbogen und beim Auftreffen des Kontaktes 4 auf die



festen Gegenkontakte 6 ist der Winkel α und der Hebelarm h der Federkraft nur noch sehr klein; der Hebel 1 ist nahe der Totpunktlage. In der Totpunktlage selbst könnte er von der Feder nicht mehr herausgezogen werden. Man geht aber so nahe an die Totpunktlage heran, dass die Feder erst bei wesentlich tieferer Drehzahl den Kontakthebel zurückreissen kann. Durch die bewusste Anwendung des erläuterten Konstruktionsprinzips erhält man schon einen ausserordentlich guten Zentrifugalanlasser.

Merkwürdigerweise konnte sich in einigen Ländern der Motor mit Zentrifugalanlasser trotzdem nicht durchsetzen; so findet man in der deutschen und amerikanischen Literatur fast keine Spuren von ihm. Sogar weitverbreitete Handbücher schweigen sich über ihn ganz aus. Einesteils wird dies auf die bestehenden Anschlussvorschriften bezüglich Stromstössen usw. zurückzuführen sein, die bei den dortigen starken Netzen offenbar weitherziger waren. In der Schweiz wurde der Motor mit Zentrifugalanlasser durch die Maschinenfabrik Oerlikon im Jahre 1913 eingeführt, mit der Konstruktion

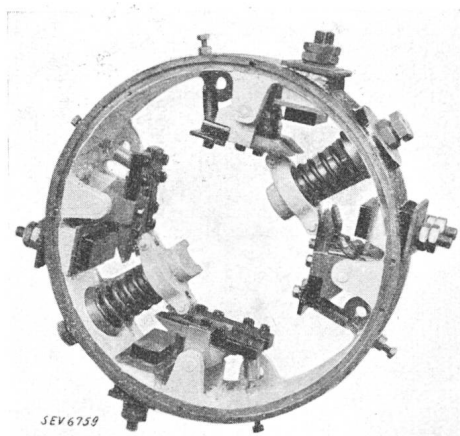


Fig. 3.
Oerlikon Zentrifugalanlasser 1913 für grosse Motoren.

nach Fig. 3 für grosse Motoren. Die kleinen Drehzahlen führten zur Verwendung einer vom Kontakthebel getrennten, sich radial bewegenden Fliehmasse. Für die kleinen Motoren wurde 1914 eine andere Bauart²⁾ geschaffen, die in Fig. 4 dargestellt ist. Die Fliehmasse 8 bewegt sich ebenfalls radial und ist als Kontakt ausgebildet. Die tiefe Rückfalldrehzahl wird erreicht durch die Rast mit Bolzen

²⁾ Sachs: «Neue Bauformen des Drehstrominduktionsmotors», Bull. SEV 1923, S. 137.

12 und Feder 13. Mit diesem Zentrifugalschalter wurden mehrere tausend Motoren geliefert, von denen zahlreiche heute noch ihren Dienst versehen.

Die bisher erwähnten Konstruktionen von Zentrifugalanlassern besaßen Tastkontakte, d. h. Kontakte, deren Schliessbewegung im wesentlichen

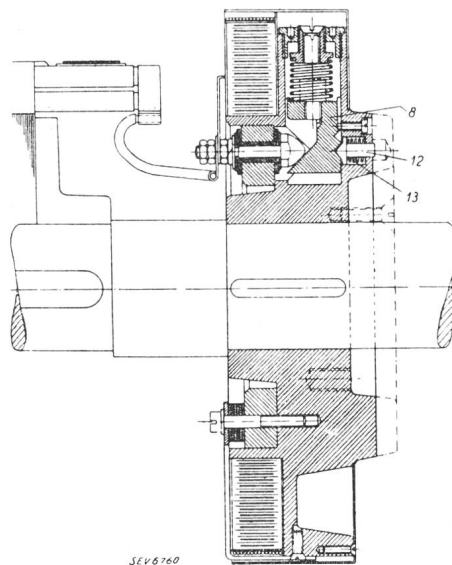


Fig. 4.
Oerlikon Zentrifugalanlasser 1914 für kleine Motoren.

senkrecht zur Kontaktfläche verläuft. Es wurden aber auch Lösungen mit Schleifkontakten versucht, bei denen die Bewegung im wesentlichen parallel zur Kontaktfläche vor sich geht³⁾. Der Hauptnachteil dieser Art des Kontaktschlusses ist die Gefahr des unvollständigen Schliessens und Öffnens und gar des Steckenbleibens schon bei leichten Anbrennungen oder Perlenbildung an den Kontaktflächen. Auf diesem Wege lässt sich auch kein so präzises und sprunghaftes Schalten erreichen, so dass man allgemein nach weiteren Bauformen gesucht hat.

Im Jahre 1922 entwickelte die A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden⁴⁾, den Brunkenschen Zentrifugalschalter weiter und führte unter Anwendung des Satzes, dass eine Ebene durch drei Punkte bestimmt ist, den beweglichen Kontakt als runde Platte aus, die in ihrem Zentrum am Hebel lose befestigt ist und die auf die drei zu verbindenden festen Kontakte senkrecht aufschlägt. Die Platte kann sich um ihre Achse drehen, so dass alle die möglichen Kontaktpunkte darauf sich auf einer konzentrischen Kreisringfläche verteilen, wodurch eine wesentlich längere Lebensdauer des beweglichen Kontaktes erhalten wird.

Im Jahre 1927⁵⁾ kam die Maschinenfabrik Oerlikon nach längeren Untersuchungen zu einer neuen Ausbildung des Schaltelementes für Zentrifugalanlasser, die bei gleichem Platzbedarf wesentlich höhere Ausgangsdrehmomente ergibt, so dass der Rückfall bei einer viel tieferen Drehzahl erfolgt. Die mit diesen Anlassern ausgerüsteten Motoren

³⁾ 1919 nach + Patent 83966 von Cuénod, 1921 Dunker-Anlasser in ETZ 1921, H. 39, S. 1103.

⁴⁾ + Patent 105789 und Bull. SEV 1923, S. 141.

⁵⁾ + Patent 125075.

sind also weit überlastbarer. Das Bauschema dieser Elemente ist in Fig. 5 dargestellt. Es sind zwei einarmige Hebel vorhanden, die scherenförmig von einer an den freien Enden angreifenden Feder zusammengezogen werden. Sie bilden für den beweglichen Kontakt eine Geradföhrung, so dass er sich

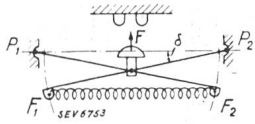


Fig. 5.
Schema des Scherenschalt
elementes.

nur radial in der Richtung der Zentrifugalkraft F bewegen kann. Um einen mathematischen Vergleich der beiden Konstruktionen zu ermöglichen, müssen einige Voraussetzungen gemacht werden, die aber gegenüber der wirklichen Ausführung keine wesentlichen Änderungen bedeuten. So wurde im Diagramm Fig. 6 des Einhebelelementes der Kontakthebel nur bis zum Angriffspunkt F_1 der Feder gezeichnet. Der Kontakt mit dem Schwerpunkt S kann in diesen Punkt F_1 verlegt gedacht werden. Ausserdem wurde der Hebeldrehpunkt P in die Mitte der Feder 3 verlegt. Beim Scherenelement Fig. 7 wurden die Hebellängen so gewählt, dass in der Totpunktlage F_1 mit P_1 und F_2 mit P_2 zusammenfällt. Ausserdem wurde vorausgesetzt, dass bei beiden Konstruktionen die Hebel sich von der Ausgangsstellung bis zur Totpunktlage um denselben Winkel δ drehen und dass dabei das bewegliche Kontaktstück denselben Weg d macht. Es kann daher die Zentrifugalkraft, die bei gleichem Kontaktdruck in der Endlage denselben Wert haben muss, ausser Betracht gelassen werden. Wie nahe man bei diesen zwei Konstruktionen an die Totpunktlage herangehen kann, hängt von der Genauigkeit der Ausführung und der vorhandenen Reibung ab, da selbstverständlich der Kontakt bei Ruhe zurückspringen muss. Es wurde dies deshalb auch nicht berücksichtigt und die Bewegung bis zum Totpunkt angenommen. Die Strecke h , resp. h' , ist der Hebelarm, mit dem die Feder den Kontakthebel um den Punkt P , bzw. P_1 und P_2 dreht. Da die Federlänge $F_1 F_2 = a$ ein Mass für die Zugkraft der Feder ist, wurde als Drehmoment das Produkt $h \cdot a$ mal eine Konstante k betrachtet und einfachheitshalber $k = 1$ gesetzt.

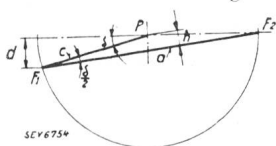


Fig. 6.
Einhebelssystem (mit
Hebellänge c).

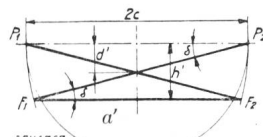


Fig. 7.
Scherensystem
mit Hebellänge $2c$).

$$d' = d$$

$$h = c \cdot \sin \frac{\delta}{2}$$

$$h' = 2c \cdot \sin \delta$$

$$a = 2c \cdot \cos \frac{\delta}{2}$$

$$a' = 2c (2 \cos \delta - 1)$$

$$s = \frac{2c}{a} \text{ Streckungsverhältnis}$$

$$s' = \frac{2c}{a'}$$

Ausgangsdrehmoment

$$M_0 = h \cdot a = 2c^2 \sin \frac{\delta}{2} \cos \frac{\delta}{2} \quad M'_0 = h' \cdot a' = 4c^2 \sin \delta (2 \cos \delta - 1) = 8c^2 \sin \delta \cos \delta - 4c^2 \sin \delta$$

$$M_0 = c^2 \sin \delta$$

$$M'_0 = 4c^2 (\sin 2\delta - \sin \delta)$$

$$\frac{M'_0}{M_0} = \frac{4(\sin 2\delta - \sin \delta)}{\sin \delta} = 8 \cos \delta - 4.$$

Zahlenbeispiel.

$$\delta = 15^\circ \quad \sin \delta = 0,259; \quad \sin \frac{\delta}{2} = 0,13$$

$$\frac{\delta}{2} = 7,5^\circ \quad \cos \delta = 0,966; \quad \cos \frac{\delta}{2} = 0,991$$

$$h = c \cdot 0,13$$

$$h' = c \cdot 0,518$$

$$\frac{h'}{h} = \sim 4$$

$$a = c \cdot 1,982$$

$$a' = c \cdot 1,866$$

$$s = 1,01$$

$$s' = 1,07$$

$$\frac{s'}{s} = 1,063$$

$$M_0 = h \cdot a = c^2 \cdot 0,258$$

$$M'_0 = c^2 \cdot 0,968$$

$$\frac{M'_0}{M_0} = 3,75$$

Als Streckungsverhältnis wurde das Verhältnis der gestreckten Feder im Totpunkt zur Länge a , bzw. a' der Feder in der Ausgangslage bezeichnet. Die errechneten Grössen wurden unter die entsprechenden Figuren gesetzt. In die ermittelten Formeln wurde beispielsweise für den Winkel δ der Wert 15° eingesetzt, der in der Grössenordnung mit den bei diesen Konstruktionen vorkommenden Winkelaus-

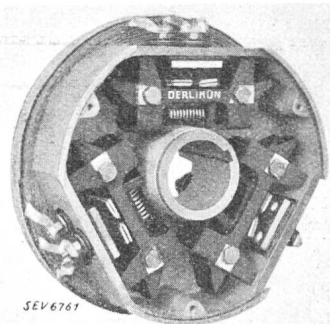


Fig. 8.
Oerlikon Zentrifugal-
anlasser 1927 mit
Scherenschalt-
elementen.

schlägen übereinstimmt. Man sieht, dass trotz der nur 6 % grösseren Streckung der Feder das Scherenelement ein 3,75mal höheres Ausgangsdrehmoment M_0 als das Einhebelelement gibt. Es rührt davon her, dass sich gleichzeitig beide Federendpunkte F_1 und F_2 bewegen, so dass der Hebelarm h' viermal grösser wird als beim Einhebelelement. Fig. 8 zeigt die Ausführung des Scherenschalt elements, die sich an vielen Tausenden von Motoren bewährt hat. Der bewegliche Kontakt bestand aus zwei an Blattfedern befestigten rechteckigen Platten, die auf drei feste Gegenkontakte aufschlagen, wovon der eine Kontakt mit beiden beweglichen Platten in Berührung kam. Durch das Ausbiegen der Federn beim Kontaktschluss erfolgt eine gleitende, die Kontaktfläche reinigende Bewegung.

In Frankreich scheint um das Jahr 1926 herum der Motor mit Zentrifugalanlasser wieder an Bedeutung gewonnen zu haben, und zwar für die ländliche Elektrifizierung, d. h. speziell für landwirtschaftliche Zwecke. Die Firma Legendre frères ⁶⁾

⁶⁾ Revue Gén. Electr. vom 8. Mai 1926, p. 727.

nahm den Goerges-Motor wieder auf und rüstete ihn mit einem neuen Anlasser aus (Fig. 9). Die Kontakte *P* werden unter dem Einfluss der Zentrifugalkraft radial gegen die festen Kontakte *AB*, resp. *CD* geschleudert, und zwar die Brücke mit der grösseren Fliehmasse *F* vor der andern mit der Masse *E*. Die Gegenfedern *S* sind bogenförmig freigespannt. Bei dieser Ausführung arbeitet jeder Teil der Feder mit einem andern Hebelarm, der vom günstigsten bis zum ungünstigsten Wert variiert. Ein zahlenmässiger Vergleich mit andern Konstruktionen ist daher und auch wegen der möglichen grösseren Reibung erschwert.

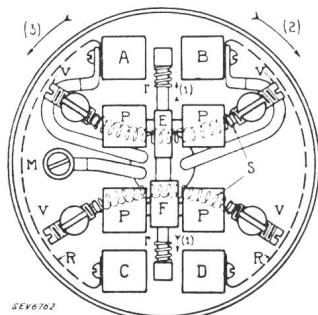


Fig. 9.
Zentrifugalanlasser
Legendre 1926.

erwähnten Bauart mit Schleifringen und separatem Anlasser an. Dieser bestand aus parallel geschalteten Widerständen und Induktivitäten ohne jede Stufung. Mit zunehmender Drehzahl und abnehmender Frequenz des Rotorkreises nimmt der Rotorstrom seinen Weg mehr durch die Induktivitäten mit niederem ohmschem Widerstand. Zentrifugalschalter wirken erst beim Abschluss des Anlaufes mit und schliessen die Schleifringe kurz. Sie sind als einfache einarmige Hebel gebaut und scheinen zur Vergrösserung der Differenz zwischen Springdrehzahl und Rückfalldrehzahl keine weiteren Vorkehrungen aufzuweisen. Ein zweiter, von der Firma Roulland⁸⁾ entwickelter Motor mit

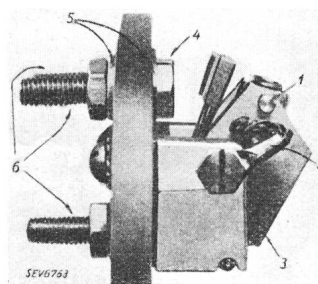


Fig. 10.
Schaltelement des Zentrifugalanlassers Roulland 1935.
1 Knopf zum Regulieren der Federspannung. 2 Verbindungskabel. 3 Zentrifugalgewicht. 4 Kontaktstück. 5 Isolation aus Mica. 6 Anschlüsse der Widerstände.

Zentrifugalanlasser und rotierenden Anlasswiderständen weist Schaltelemente der alten Einhebelbauart auf. Die Kontaktplatten sind durch Blattfedern mit der Fliehmasse verbunden, so dass ebenfalls bei Kontaktschluss eine gewisse gleitende, die Kontaktflächen reinigende Bewegung zustande kommt. Ein etwas heikler Punkt im Dauerbetrieb wird u. E. der flexible Kabelanschluss 2 zwischen dem Gehäuse und den beweglichen Kontakten sein, der den etwas unbestimmten Stromschluss über die

Hebellagerung shunten muss. Die Widerstände sind äusserst sorgfältig entworfen und auf Steatitträgern montiert, die gleichzeitig die Rolle von Ventilatorflügeln übernehmen. Neu ist der Einbau von Sicherungen im Kreise der Anlasswiderstände, um diese bei Verhinderung des Anlaufes durch eine äussere mechanische Ursache zu schützen.

Bei allen Anlassverfahren mit Widerständen sind diese nämlich bei unvollständigem Anlauf oder bei kleinen Anlaufströmen schon beim Anreissen aus der Ruhe gefährdet, da der Motorschalter mit Sicherungen oder thermischem Auslöser wegen der zuzulassenden Ueberlastungsmöglichkeit nicht frühzeitig genug abschalten kann. Schon im Jahre 1921⁹⁾ entwickelte die Maschinenfabrik Oerlikon speziell für vollautomatische Pumpenanlagen eine Schutzschaltung, bei welcher der Ablauf des Anlassvorganges durch ein Zeitrelais und einen Zentrifugalschalter überwacht wurde. Dauert der Anlauf infolge einer Störung länger als die am Relais eingestellte Zeit, so wird der Motorschalter ausgelöst. Wenn alles richtig vor sich geht, wird das Relais durch den Zentrifugalschalter unwirksam gemacht.

Die Füllung des völlig gekapselten Zentrifugalanlassers mit Oel, die auch schon propagiert wurde, erscheint, abgesehen von den Schwierigkeiten der Abdichtung, speziell im Hinblick auf die Ueberlast der Widerstände bei gestörtem Anlauf, als etwas bedenklich. Solche Motoren bedürfen in vermehrtem Masse eines speziellen Schutzes.

Der neue Zentrifugalanlasser mit Kugelkontakten.

Im Bestreben, die Automatik zu vereinfachen, entwickelte die Maschinenfabrik Oerlikon im Jahre 1936 einen neuen Motor¹⁰⁾, der zwei Rotorwicklungen besitzt, wovon die eine fest kurzgeschlossen ist und zum Anreissen aus der Ruhe dient, und die andere bei einer höheren Drehzahl über Widerstände zugeschaltet wird. Bei diesem Combi-Motor¹¹⁾ müssen die Zentrifugalschaltetelemente so eingestellt sein, dass dasjenige, welches beim Anlauf als erstes arbeitet und die Wicklung mit Anlasswiderstand einschaltet, beim Auslauf des Motors auch zuerst ausschaltet. Damit ist die Gewähr gegeben, dass bei im Betriebe erfolgenden Schwankungen der Spannung oder der Frequenz oder bei Unterbrechung einer Phase und daraus resultierendem Drehzahlabfall des Motors die Anlasswiderstände überhaupt nicht mehr eingeschaltet werden. Um diesen Forderungen zu genügen, musste ein Zentrifugalschaltetelement gefunden werden, das ein noch höheres Ausgangsdrehmoment hat als das des Scherenelementes, das weniger Reibung aufweist und präziser und in einem viel grösseren Bereich einstellbar ist als dieses. Weitere Untersuchungen führten zum eigentlichen Kniehebelelement, dessen Schema in

⁹⁾ Druckschrift Oerlikon 737, vom Jahre 1922.

¹⁰⁾ DRP 645120.

¹¹⁾ Ueber die Eigenschaften dieses neuen Motors wird ein spezieller Aufsatz erscheinen. Der Autor berichtet hier nur über die ihm und seinen Mitarbeitern gestellte Aufgabe der Schaffung eines neuen Zentrifugalschaltetelementes.

⁷⁾ Revue Gén. Electr. vom 11. Mai 1935, p. 603, Fig. 5.

⁸⁾ Rev. Gén. Electr. vom 11. Mai 1935, S. 604.

Fig. 11 angegeben ist. Wenn der einarmige Kontakt-
hebel $P_1 P_2$ unter der Zentrifugalkraft F sich um
den Winkel δ bewegt, so wird die Feder $F_1 F_2$ zu-
sammengedrückt und erzeugt ein Gegendrehmoment
um den Drehpunkt P_2 mit dem Hebelarm h . Bei

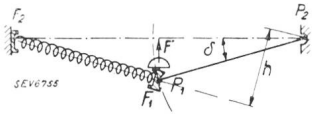


Fig. 11.
Schema des Kniehebelschalt-
elementes Oerlikon 1936.

gleicher Federkraft wird dieses Drehmoment be-
deutend grösser als das des Einhebelelementes nach
Fig. 2. Gegenüber dem Scherenelement Fig. 5 weist
es schon theoretisch ein höheres Ausgangsdrehmo-
ment auf. In der praktischen Ausführung wird
der Unterschied nochmals zugunsten des Knie-
hebelelementes grösser, da es bedeutend weniger
Reibung aufweist. In Fig. 12 wird es ebenfalls dem
Einhebelelement Fig. 6 gegenübergestellt. Es gelten
wieder dieselben Voraussetzungen; nur ist zu be-
merken, dass beim Kniehebel die Feder $F_1 F_2$ im
zusammengedrückten Zustand dieselbe Federkraft
entwickeln muss wie die Feder in Fig. 6, obgleich
sie nur die halbe Länge hat. Es muss daher bei der
Berechnung des Drehmomentes die Länge a'' mit
dem Federmaßstab 2 multipliziert werden, um den
korrekten Vergleich zu erlauben.

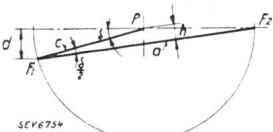


Fig. 6.
Einhebelssystem (mit
Zugfeder).

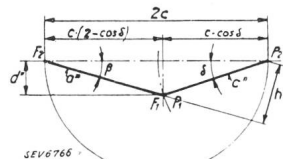


Fig. 12.
Kniehebelsystem (mit
Druckfeder).

$$d'' = d$$

$$h = c \cdot \sin \frac{\delta}{2}$$

$$h'' = 2c \cdot \sin \beta = 2c \cdot \frac{d''}{a''}$$

$$d = d'' = c \cdot \sin \delta$$

$$a = 2c \cdot \cos \frac{\delta}{2}$$

$$a'' = \sqrt{d''^2 + c^2(2 - \cos \delta)^2} = \sqrt{c^2 \sin^2 \delta + c^2(2 - \cos \delta)^2}$$

$$a'' = c \sqrt{\sin^2 \delta + 4 - 4 \cdot \cos \delta + \cos^2 \delta} = c \sqrt{5 - 4 \cdot \cos \delta}$$

$$a'' = 2c \sqrt{1,25 - \cos \delta}$$

$$s = \frac{a}{2c}$$

$$s'' = \frac{a''}{c}$$

a und a'' repräsentieren gleich starke Federn, also muss
rechts die Strecke a'' mit dem Maßstab 2 multipliziert werden.

$$M_0 = h \cdot a = 2c^2 \sin \frac{\delta}{2} \cos \frac{\delta}{2} \quad M_0'' = h'' \cdot 2a'' = \frac{2cd''}{a''} \cdot 2a'' = 4cd''$$

$$M_0 = c^2 \cdot \sin \delta$$

$$M_0'' = 4c^2 \sin \delta$$

$$\frac{M_0''}{M_0} = 4 \quad \text{unabhängig vom Winkel } \delta.$$

Die grossen Schaltzahlen, denen ein Zentrifugal-
anlasser standhalten muss, stellen an die Kontakte
ausserordentliche Anforderungen. Um diesen zu ge-
nügen, wurde als Kontaktstück eine frei in einem
Korb bewegliche Kugel¹²⁾ gewählt. Dieser Kontakt

hat gegenüber jeder andern Kontaktform die zwei
grossen Vorteile der *Selbstzentrierung* und der *An-
teilnahme der absolut ganzen Oberfläche* an die
Kontaktbildung. In Fig. 13a ist der Moment darge-
stellt, wo die durch die Zentrifugalkraft beschleunigte

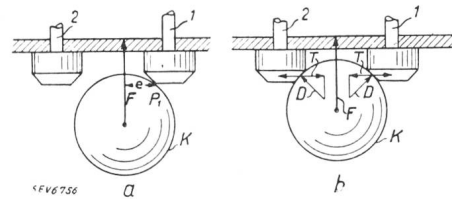


Fig. 13.

Selbstzentrierung des Kugelkontaktes.

nigte Kugel K sich etwas neben dem durch das Zen-
trum der drei festen Kontakte 1-2-3 (davon nur
zwei gezeichnet) gehenden Radius bewegt und da-
her nur auf den Gegenkontakt 1 aufschlägt. Das
sich dabei mit dem Hebel e bildende Drehmoment
dreht die Kugel sofort um den Punkt P_1 und bringt
sie zur Berührung wenigstens eines zweiten Kon-
taktes. Nachher erfolgt eine Drehung um eine Ge-
rade, die durch die zwei ersten Berührungspunkte
geht, und die Kugel nimmt die endgültige Lage
ein entsprechend Fig. 13 b. Die Kontaktdrücke D
erzeugen 3 gegen das Zentrum der drei festen Kon-

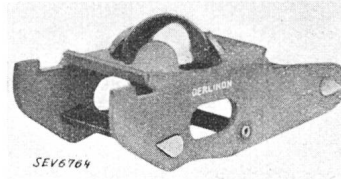


Fig. 14.

Schalthebel mit
Kugelkontakt.

takte gerichteten Komponenten T , die die Kugel in
der zentrischen Lage festhalten, auch bei sehr star-
ken Bremsverzögerungen des Motors. Die beschrie-
benen Drehbewegungen der Kontaktkugel zuerst
um einen Punkt, hernach um eine Gerade, bewir-
ken ein bei jeder Schaltbewegung automatisch vor
sich gehendes Abrollen, derart, dass jeder Punkt der
Oberfläche einmal als Kontaktpunkt dienen muss.
Die Folge ist eine völlig gleichmässige Abnutzung

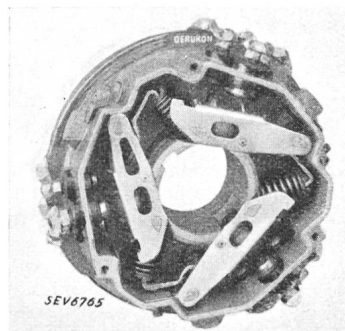


Fig. 15.

Oerlikon Zentrifugal-
anlasser 1936.

der Kugeloberfläche und die Verhinderung von lo-
kalen Verbrennungen. Die Kugel liegt frei wie in
einem Korb im Schalthebel, der aus gestanztem
Blech gebogen wird. Alle drei Drehpunkte, bzw.

¹²⁾ + Patente 183541, 191315, DRP 654322 und andere.

Drehachsen des Kniehebels bestehen aus gehärteten Stahlschneiden. Die am Anlassergehäuse befestigte Schneide, auf welcher die Druckfeder ruht, kann durch eine Stellschraube zur Einstellung der Rückfalldrehzahl verstellt werden. Das neue Kniehebelelement wiegt nur noch 70 % des Scherenelementes; das Gewicht des ganzen Anlassers konnte durch die besondere Bewicklung des Combimotors sogar auf 55 % reduziert werden.

Diese Ergebnisse geben ein typisches Beispiel dafür, wie sich durch systematische Versuche und Untersuchungen auch bei kleinen Teilproblemen unserer Elektroindustrie wesentliche Verbesserungen erzielen lassen. Das beschriebene Zentrifugalschaltetelement ist zu einem neuen zuverlässigen Maschinen- und Apparate-Element geworden, welches zweifellos noch zahlreiche andere Anwendungen finden wird.

Ueber die neueste Entwicklung der Physik.

Werbeaktion für das Cyclotron.

Am 5. Februar 1938 hielt Professor Dr. P. Scherrer einen Experimentalvortrag über das obige Thema, der am 16. Februar wiederholt werden musste. Dieser Vortrag war gedacht als Einleitung für eine Werbeaktion, deren Initianten sich zum Ziel die Anschaffung eines Cyclotrons, dieses modernsten und leistungsfähigsten Hilfsmittels der heutigen Atomforschung, gesetzt haben.

Einleitend dankte der Referent der zahlreichen, den grossen Hörsaal des physikalischen Instituts beidemale bis auf den letzten Platz füllenden Zuhörschaft für das Interesse, welches die Einladung des Aktionskomitees bei ihr gefunden hatte. Dann begann er mit einer umfassenden Darstellung der allgemeinen Situation, in welcher sich die heutige physikalische Forschung befindet, vom schon Erforschten, zum Teil bereits technisch nutzbar gemachten, vordringend bis zu den modernsten, noch ungelösten Problemen des Kernbaus. Im folgenden geben wir die meisterhaft vorgetragenen, von zahlreichen Experimenten belegten Ausführungen wieder.

Die heutige physikalische Forschung geht in einem enormen Tempo vor sich. Eine Entdeckung folgt der andern, latente Möglichkeiten technischer Nutzenwendungen in sich bergend. Die Technik kommt mit der Verarbeitung der Probleme, welche ihr die Physik zuspielt, kaum nach. Zu fragen, warum der Physiker nicht selbst die technische Auswertung an die Hand nimmt, hiesse seinen Standpunkt verkennen. Es ist kein Zufall, dass nicht ein Akustiker wie Rayleigh das Grammophon erfunden hat, sondern ein Autodidakt und Bastler wie Edison, dass nicht Heinrich Hertz, der experimentelle Entdecker der elektrischen Wellen, die drahtlose Telegraphie begründete, sondern der Ingenieur Marconi. Der Physiker beschäftigt sich nicht mit der Technik; hat er in einer Erscheinung das Naturgesetzliche erkannt, so verlässt er dieses Problem und wendet sich einem neuen zu. Um nun einen Querschnitt durch die heutige Physik zu geben, nimmt man zweckmässig eine Unterteilung der Gesamtheit der Erscheinungen in zwei Gruppen vor, nämlich in die der Kollektivphänomene und diejenige der Einzelercheinungen. Kollektivphänomene kommen zustande durch das Zusammenwirken einer grossen Zahl von atomaren Gebilden. Zu den Einzelercheinungen hingegen gehört das heute in voller Entwicklung begriffene Feld der Atomumwandlungen.

Der Stand der Forschung auf dem Gebiet der *Kollektivphänomene* möge an einigen typischen Beispielen illustriert werden. Das bekannteste und wichtigste ist wohl das des elektrischen Stromes. Das Auftreten eines elektrischen Stromes ist stets gebunden an das Vorhandensein von elektrischen Ladungen, welche in einer bestimmten Richtung wandern. Im Metall wird der Ladungstransport durch die im Metallgitter frei beweglichen Elektronen aufrechterhalten. Die Existenz dieser Leitungselektronen kann durch den sogenannten Halleffekt (Fig. 1) nachgewiesen werden. Ein stromführender Leiter wird in ein homogenes Magnetfeld H gebracht, dessen Kraftlinien senkrecht zur Richtung des Stromflusses I stehen. Die vom Magnetfeld auf ein Elektron ausgeübte Kraft (Lorentz-Kraft) ist sowohl zur Stromrichtung als auch zum Magnetfeld senkrecht gerichtet. Unter ihrem Einfluss müssen sich also die Elektronen aus der ursprünglichen Stromrichtung heraus und gegen den einen Rand des Leiters bewegen. Die dadurch bewirkte Elektronenanhäufung an der einen, bzw. Verminderung an der andern Seitenfläche des Leiters gibt Anlass zu einer Potentialdifferenz U zwischen diesen bei-

den Flächen. Verbindet man also diese mit den Polen eines Galvanometers G , so fliesst ein Strom durch das Instrument.

Zwei weitere auf der Existenz freier Leitungselektronen beruhende und für die Technik hochbedeutsam gewordene Phänomene betreffen die Auslösung von Elektronen aus einem Metall durch Energieübertragung auf dieselben. Die Energie kann in Form von Wärme zugeführt werden: ein glühender Draht verdampft, wie man sagt, Elektronen (denn dieser Prozess hat sein Analogon zum Verdampfen in der Gaskinetik). Diese Erscheinung ist zur Grundlage der gesamten Röhrentechnik geworden. Doch auch Licht vermag Elektronen aus gewissen Metallen auszulösen, indem die elektrische Energie der Lichtwelle in kinetische des Elektrons umgewandelt wird. Der hierauf beruhende sogenannte lichtelektrische Effekt hat in der Technik der Photozellen seine Verwendung gefunden.

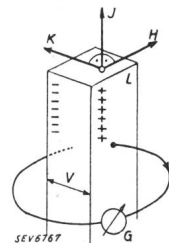


Fig. 1.

Dass auch in einem normalerweise nicht leitenden Kristall ein Strom fließen kann, wenn man Elektronen hineinbringt, zeigt folgender Versuch: Ein Kaliumchlorid-Kristall wird zwischen einer Platte und einer Spitze aus Metall eingespannt. Wird die Spitze erhitzt, so dass es zur Glühemission von Elektronen kommt, und Spitze und Platte mit den Polen einer Batterie verbunden, so dringt von der Spitze aus eine Elektronenwolke in den Kristall hinein, die man an ihrer intensiv blauen Färbung erkennt.

Ein weiteres allgemein bekanntes Kollektivphänomen ist der Ferromagnetismus. Schon weniger bekannt hingegen ist das elektrische Analogon dazu, nämlich die Seignette-Elektrizität. Das Seignettesalz, ein Alkalisalz der Weinsäure, ist gegenüber andern Dielektrika durch eine enorm hohe Dielektrizitätskonstante von der Grössenordnung 10^5 ausgezeichnet, in Analogie zur anormalen Permeabilität der Ferromagnetika. Dementsprechend treten bei jenem die gleichen Erscheinungen auf elektrischem Gebiete auf, wie bei diesem auf magnetischem. Das Seignettesalz besitzt also auch eine Hysteresiskurve, einen Curiepunkt (der hier allerdings sehr tief, bei 24°C liegt) und ist piezoelektrisch (in Analogie zur Magnetostraktion). Ein Experiment von elegantester Einfachheit zeigte die technische Verwendungsmöglichkeit der Piezoelektrizität: ein kleiner, modulierter Schwingkristall als Schallstrahler und eine Tischschublade als Resonanzboden arbeiteten ganz befriedigend als Lautsprecher.

Als Einführung in das Gebiet der Atom- oder, präziser ausgedrückt, Atomkernumwandlungen erscheint es uns zweckmässig, kurz die wichtigsten Tatsachen über den Bau der Atomhülle zusammenzustellen. Diese ist dem Physiker heute sehr genau bekannt. Sie besteht aus den negativ geladenen Elektronen, welche sich auf periodischen Bahnen um den positiven Kern als Zentralkörper bewegen. Die Summe aus der Hüllen- und der Kernladung ist bei dem im Normalzustand befindlichen Atom gleich Null; es erscheint also nach aussen neutral. Die räumliche Anordnung der Bahnen um den Kern ist nicht stetig variabel, sondern in ganz bestimmtem, sich nur in diskreter Weise änderndem Verlauf geregelt (quantisiert). Künstliche Eingriffe in die Hülle gehen mit relativ geringem Energieaufwand vonstatten; bei den leichten

621.318.381 : 539.15