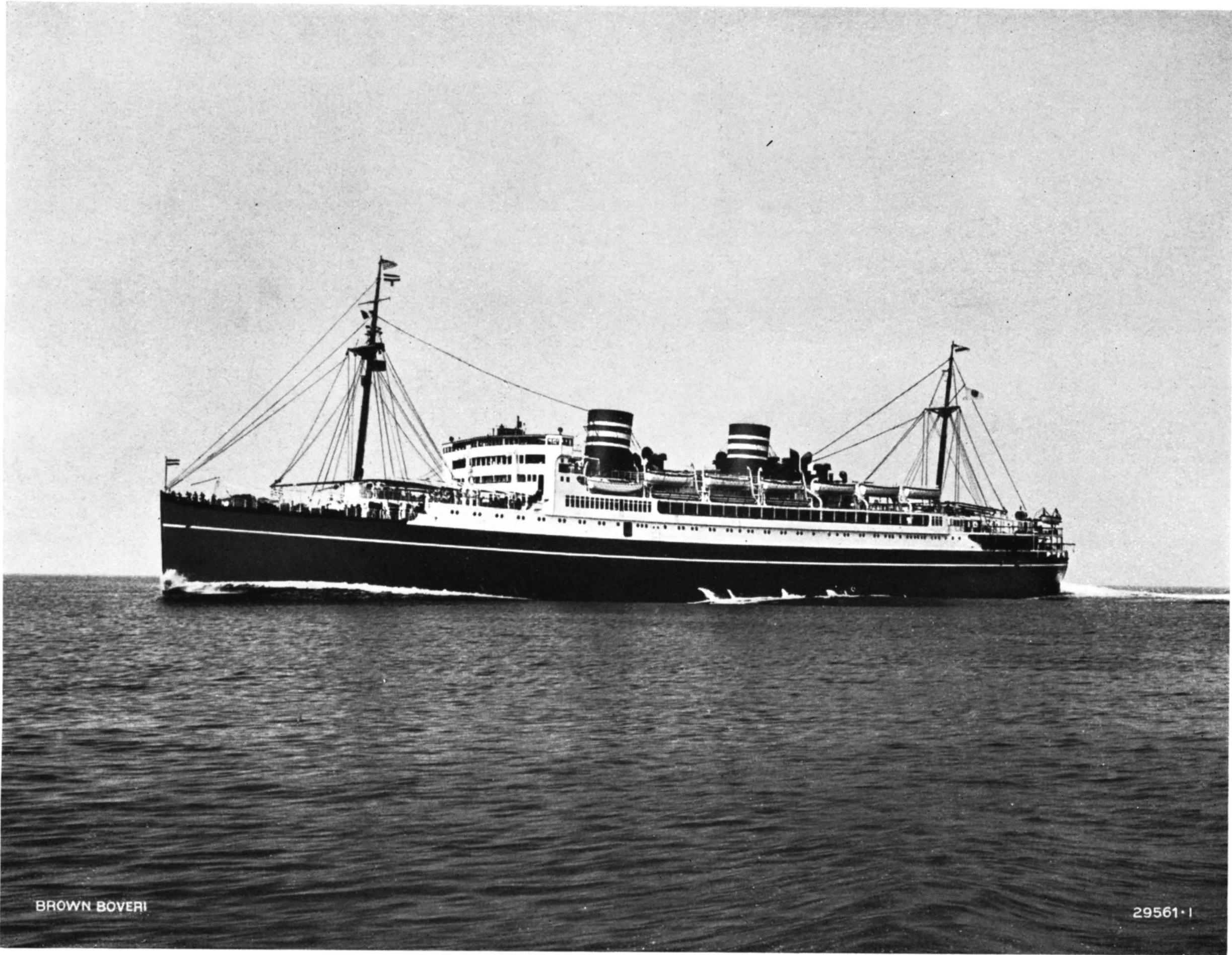


BROWN BOVERI MITTEILUNGEN

Herausgegeben von der Aktiengesellschaft BROWN, BOVERI & C^{IE}, BADEN (Schweiz)

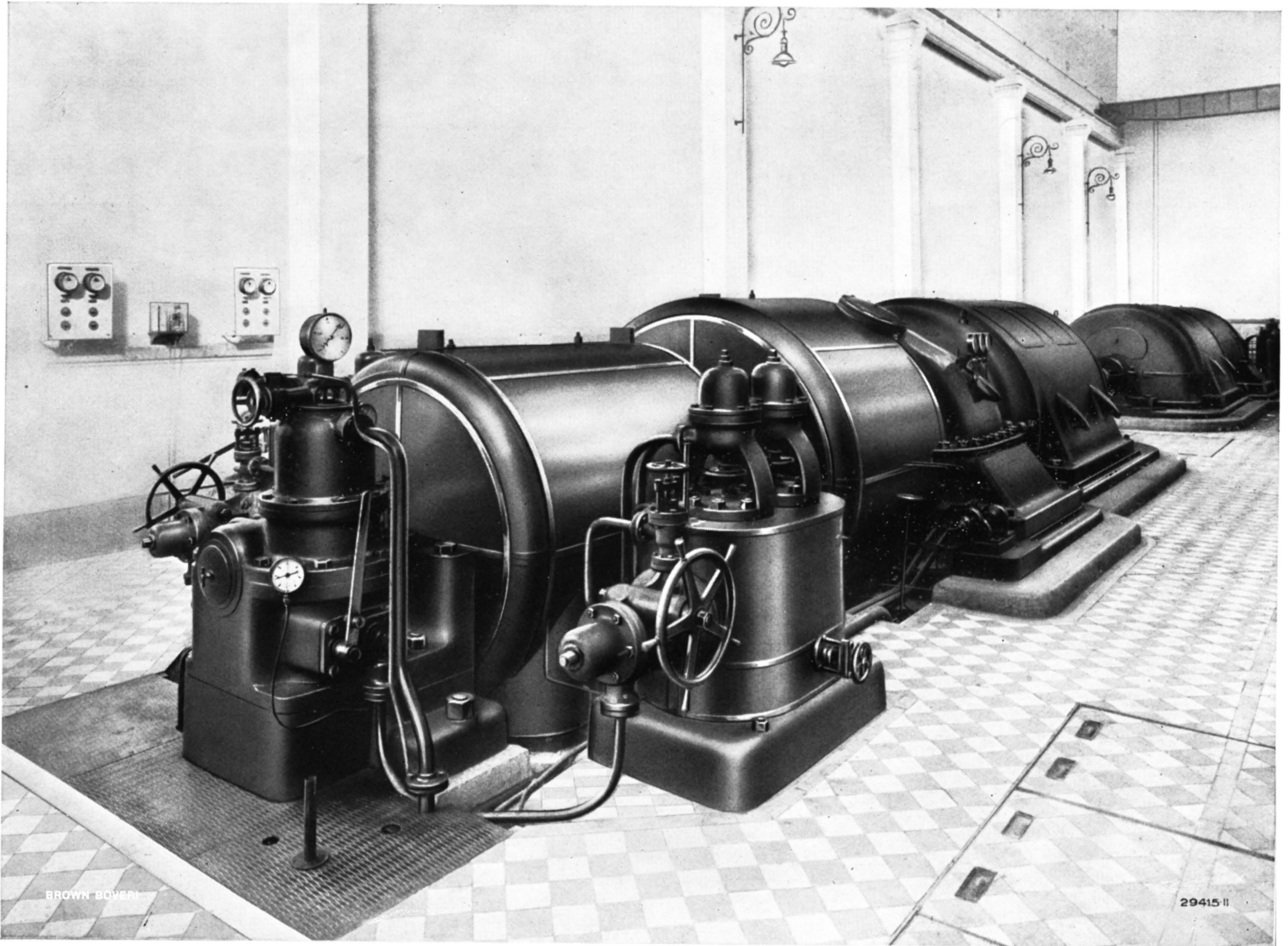


DAS GRÖSSTE MOTORSCHIFF DES JAHRES 1929
„Asama Maru“ der Nippon Yusen Kaisha, Tokio, ausgerüstet mit Sulzer-Dieselmotoren von 19 000 WPS Höchstleistung
und drei Spülluftgebläsen Bauart Brown Boveri, von je 1200 m³/min.

INHALT:

	Seite		Seite
Die Projektierung des Distanzrelaisschutzes für Freileitungsnetze	195	Kleine Mitteilungen:	
Neuere Ausführungsformen des Brown Boveri-Einzelachsenantriebes für elektrische Lokomotiven	205	Gegenseitige Beeinflussung von Sonden in elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen	210

DAMPFTURBINEN



CIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ DE MARSEILLE, MARSEILLE.
Zwei Zweizylinderturbogruppen von je 15 000 kW, 31 kg/cm² abs, 400° C, 18 750 kVA, 5500 V, 50 Perioden, Drehzahl 3000.

FRISCHDAMPF-, GEGENDRUCK-, ENTNAHME- UND
ZWEIDRUCKTURBINEN FÜR ALLE PRAKTISCH VORKOMMENDEN
VERHÄLTNISSE

DAMPFTURBINEN FÜR HÖCHSTE DAMPFDRÜCKE UND
ÜBERHITZUNGEN UND BIS ZU DEN GRÖSSTEN LEISTUNGEN

GRÖSSTE BISHER AUSGEFÜHRTE GRUPPE: 160 000 kW

BROWN BOVERI MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER A.-G. BROWN, BOVERI & C^{IE} IN BADEN

XVII. JAHRG.

JUNI 1930

Nr. 6

Die Brown Boveri Mitteilungen erscheinen monatlich einmal. Der Nachdruck von Aufsätzen und die Wiedergabe von Abbildungen sind unter Quellenangabe gestattet. Einzelheft Fr. 1.—; Jahresabonnement Fr. 10.—, ausschliesslich Verpackung und Portospesen.

DIE PROJEKTIERUNG DES DISTANZRELAISSCHUTZES FÜR FREILEITUNGSNETZE.

Dezimalindex 621.316.925.

I. EINLEITUNG.

Die in den letzten Jahren fast sprungweise vor sich gegangene Steigerung der Anforderungen an den Netzschutz, um die Betriebsicherheit der Stromversorgung zu erhöhen, zwingt mehr und mehr dazu, zur Lösung dieser Frage das Distanzrelais heranzuziehen. Innerhalb kurzer Zeit hat dieser Selektivschutz eine grosse Verbreitung gefunden, dank den vielen Vorteilen, die durch seine Anwendung erzielt werden können. Die hauptsächlichsten seien kurz erwähnt:

1. Die ideale selbsttätige Einstellung der Auslösezeiten durch die Relais selbst im direkten Verhältnis zu ihrer Entfernung vom Störungsort und folglich die Begrenzung der Störungsausdehnung durch Abtrennung der fehlerhaften Teilstrecke innerhalb kürzester Zeit (durchschnittlich eine Sekunde, in ungünstigen

Fällen nicht über zwei Sekunden); nur das vom Kurzschluss betroffene Leitungsstück wird abgeschaltet (Selektivität).

2. Die einfache Lösung des Schutzproblems in komplizierten Netzgebilden (Doppelleitungen, Ringsysteme, vermaschte Netze mit wechselnder Vielfachspeisung) durch ein einheitliches, vom Schaltzustand des Netzes vollkommen unabhängiges Relaisystem.

3. Die Unabhängigkeit der Auslösezeiteinstellung von den elektrischen Grössen im Netz und damit

die Ausdehnung des Schutzbereiches auf Störungen mit Kurzschlußströmen unterhalb des dem normalen Betriebe entsprechenden Volllaststromes.

4. Die volle Freiheit für betriebsmässige Überlastungen in weitesten Grenzen, ohne dass es dazu an den Relais besonderer Einstellungen bedarf.

Diese Vorteile können aber erst recht zur Geltung kommen, wenn bereits bei der Projektierung des Selektivschutzes auf die das Netz charakterisierenden Verhältnisse Rücksicht genommen wird. Zweck dieses Aufsatzes ist zu zeigen, auf welche Art der Brown Boveri-Distanzrelaisschutz den Netzverhältnissen anzupassen ist und welche Mittel dabei dem projektierenden Ingenieur zur Verfügung stehen.

II. DIE VON DER A.-G. BROWN, BOVERI & C^{IE} ENTWICKELTEN RELAISTYPEN.

Für den Schutz von Freileitungsnetzen wurden drei Relais typen entwickelt. Mechanisch sind sie untereinander vollkommen gleich und unterscheiden sich nur durch ihre Wicklungen und ihre verschiedenen inneren Schaltungen.

1. Das angenäherte Reaktanzrelais Type LC 2 mit innerer Schaltung nach Abb. 1. Die Phasenverschiebung im Spannungskreis des Ohmmeters beträgt 75° , so dass dieses Relais als angenähertes Reaktanzrelais zu

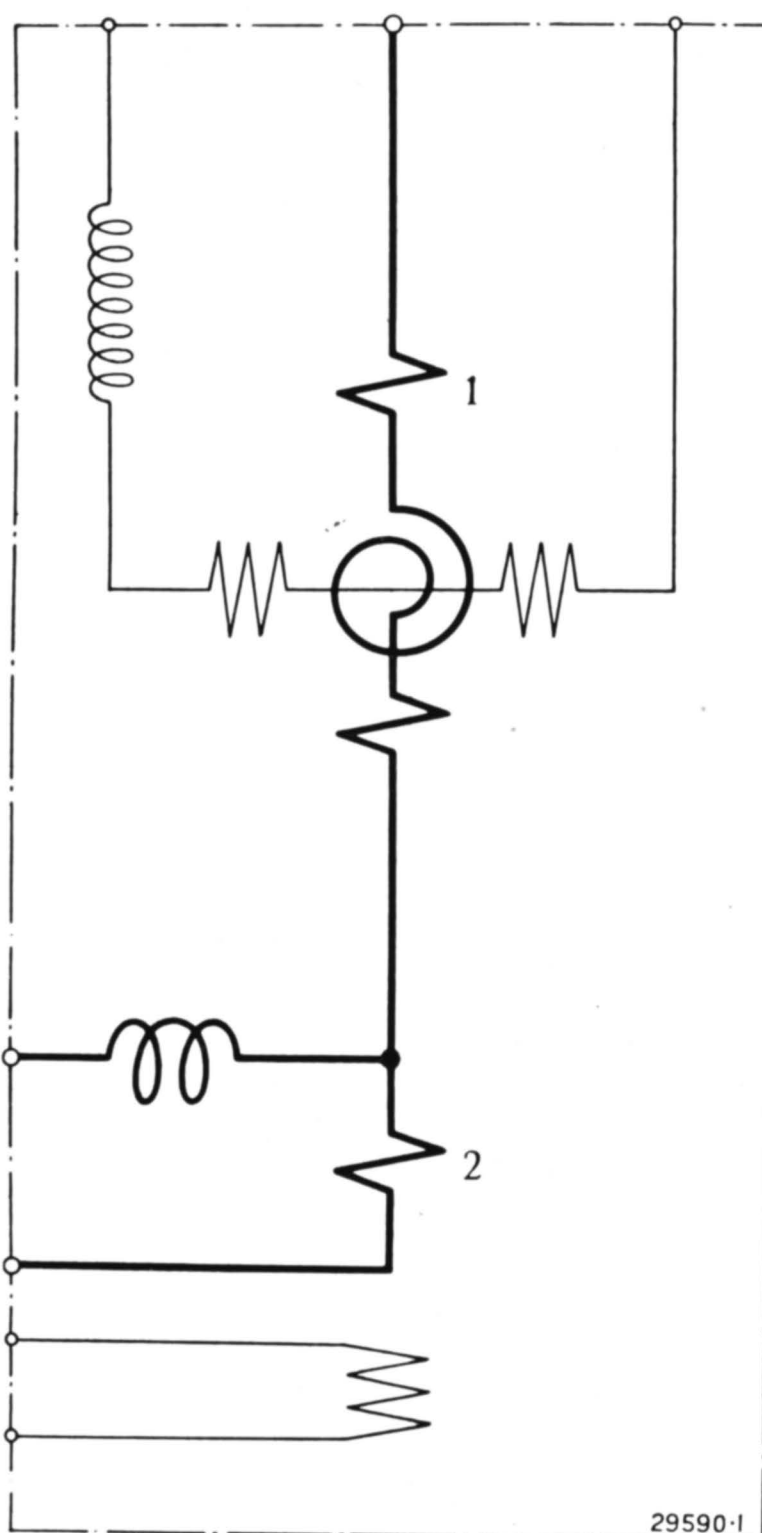


Abb. 1. — Innere Schaltung des Distanzrelais Type LC 2.

1 = Ohmmeter.
2 = Impedanzansprechorgan.

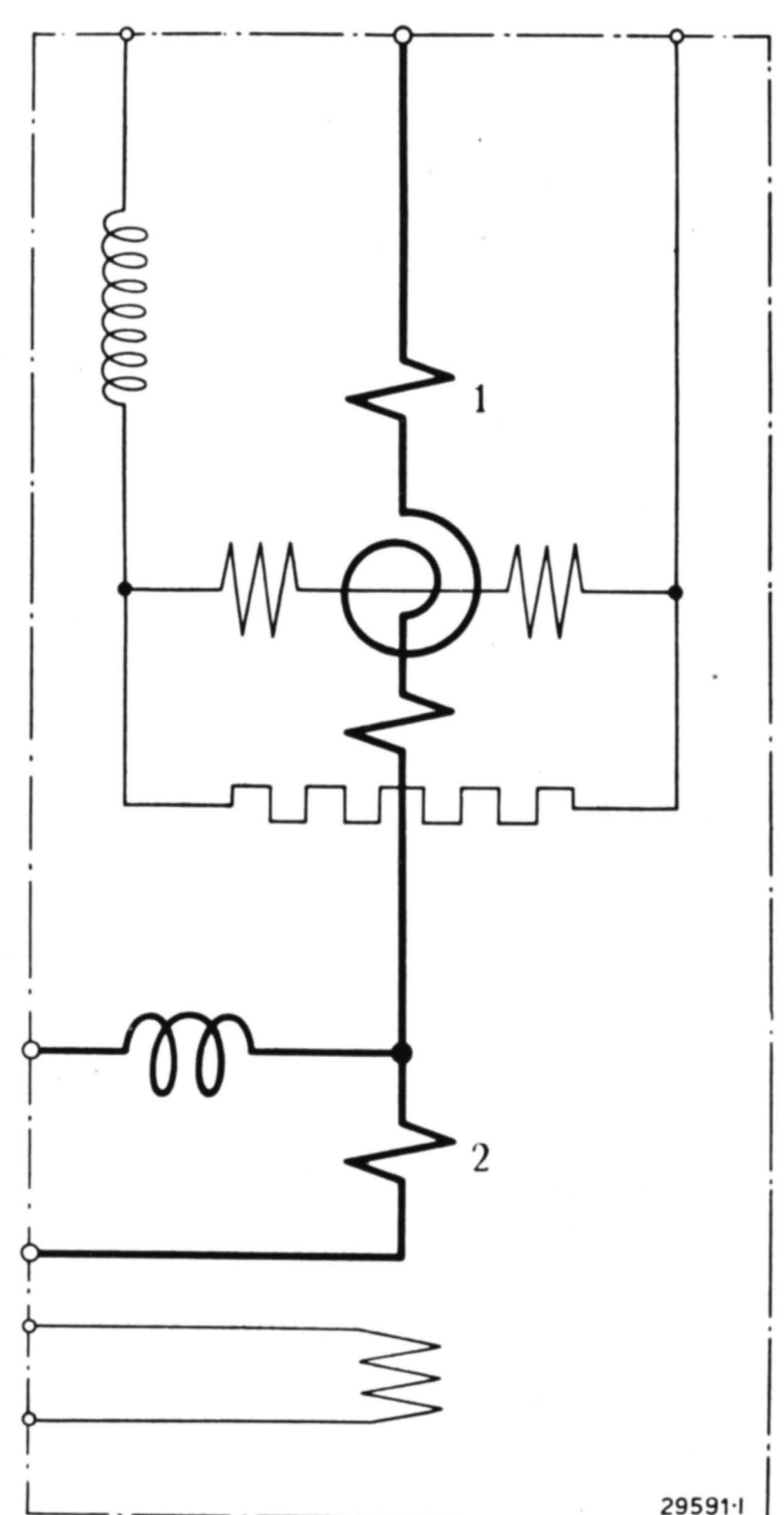


Abb. 2. — Innere Schaltung der Distanzrelais Type LB 1 und LB 2.

1 = Ohmmeter.
2 = Impedanzansprechorgan.

- bewerten ist. Der Messbereich des Ohmmeters, d. h. die Impedanz bei $\cos \varphi = 0,7$ für eine Laufzeit von fünf Sekunden beträgt fünf Ohm. Der kleinste Arbeitstrom beträgt zwei Drittel des Normalstromes oder 3,3 A.
2. *Das Reaktanzrelais Type LB 2* mit innerer Schaltung nach Abb. 2. Durch Abstimmen der Vorschalt-drosselspule mit dem Parallelwiderstand im Spannungskreis des Ohmmeters wurde die innere Phasenverschiebung für diese Type auf genau 90° abgeglichen. Folglich arbeiten die Distanzrelais LB 2 als reine Reaktanzrelais. Der Messbereich des Ohmmeters, d. h. die Reaktanz für eine Laufzeit von fünf Sekunden beträgt fünf Ohm, der kleinste Arbeitstrom wie beim Relais LC 2 3,3 A.
3. *Das Reaktanzrelais Type LB 1* mit innerer Schaltung nach Abb. 2. Diese Type unterscheidet sich von der vorhergehenden durch den grösseren Messbereich ihres Ohmmeters (zehn an Stelle von fünf Ohm) und durch die Erweiterung des Arbeitsbereiches für Kurzschlußströme bis 1,7 A.

Die Zeitgleichung für das Relais Type LC 2 lautet:

$$t = K \frac{e}{i} \cos (75 - \varphi) + t_g$$
$$= K (0,966 x + 0,259 r) + t_g$$

diejenige für die Relais Type LB 2 und LB 1:

$$t = K \frac{e}{i} \cos (90 - \varphi) + t_g$$
$$= K_x + t_g$$

In den obenstehenden Gleichungen bedeutet:

- t = die Zeiteinstellung an dem Relais,
- K = eine Ohmmeterkonstante,
- e = die Spannung an den Klemmen z und u des Ohmmeters,
- i = den Strom, welcher in das Relais eintritt,
- φ = die Phasenverschiebung zwischen der Spannung und dem Strom an den Klemmen des Ohmmeters,
- t_g = die Grundzeit, einstellbar zwischen 0,5 und 2 Sekunden,
- x = die Reaktanz, die vom Ohmmeter gemessen wird (Sekundärreaktanz),
- r = den Widerstand, der vom Ohmmeter gemessen wird (Sekundärwiderstand).

Die Brown Boveri-Distanzrelais für Freileitungen weisen alle ein Minimalimpedanz-Ansprechorgan auf, das für die beiden Relais Typen LC 2 und LB 2 genau gleich ausgeführt ist, für die Relais Type LB 1 jedoch eine andere Bewicklung trägt, um der Bedingung der Arbeitsfähigkeit bis zu einem Drittel des Normalstromes genügen zu können. Die Ansprechimpedanz liegt bei allen Typen ungefähr bei neun bis zehn Ohm, an den Relais gemessen.

Die Richtungsempfindlichkeit kann für alle Typen als sehr gut bezeichnet werden. Wichtig ist ferner,

TABELLE I

Relaistype	LC 2	LB 1	LB 2
Innere Schaltung nach Kleinster Arbeitstrom in A... ..	Abb. 1 3,3	Abb. 2 3,3	Abb. 2 1,7
Phasenverschiebung im Spannungskreis des Ohmmeters	75°	90°	90°
Relaischarakter	angenähertes Reaktanzrelais	reines Reaktanzrelais	reines Reaktanzrelais
Vorlaufzeit am Relais, einstellbar zwischen	0,5 — 2 sec	0,5 — 2 sec	0,5 — 2 sec
Zeitgleichung für das Ohmmeter	$t = K (0,966 x + 0,259 r) + t_g$	$t = Kx + t_g$	$t = Kx + t_g$
Messbereich des Ohmmeters für fünf Sekunden Auslösezeit in Ohm	5	5	10
Normalstrom in A ...	5	5	5
Betriebsmässig zulässiger Dauerstrom in A	10	10	10
Thermisch zulässiger Strom während fünf Sekunden in A ...	300	300	170
Richtungsempfindlichkeit bei Normalstrom und $\cos \varphi = 0,7$, in % des Ohmmeter-Messbereiches . . .	1,5	1,5	1,5
Energieverbrauch in VA im Spannungskreis:			
a) im Normalbetrieb bei 110 V	9	9	20
b) beim Ansprechen bei 110 V	24	35	48
Energieverbrauch in VA im Stromkreis:			
a) bei 3,3 A	6	6	—
b) bei 1,7 A	—	—	5
c) bei 5 A	13	13	35

dass bei den Reaktanzrelais die Messlage im Augenblick der Richtungsunterscheidung des Energieflusses geändert und damit die Widerstandskomponente der Restspannung an der Störungsstelle ebenfalls gemessen wird. Nach erfolgter Richtungsunterscheidung arbeiten die Relais wieder als Reaktanzrelais weiter, sodass die Änderung der Messlage auf die Zeitmessung ohne Einfluss ist. Wie Betriebsversuche gezeigt haben, erfolgt sogar bei Lichtbogenkurzschlüssen in unmittelbarer Nähe der Relais eine einwandfreie Richtungsunterscheidung.

Der Energieverbrauch im Spannungskreis der Relais Type LC 2 und LB 2, bezogen auf die normal

angelegte Spannung von 110 V beträgt im Normalbetrieb (Ohmmeter abgeschaltet) 9 VA, derjenige für das Relais LB 1 20 VA. Im Störungsbetrieb betragen diese Zahlen: 24, 35 und 48 VA.

Es wurde darnach getrachtet, den Energieverbrauch im Stromkreis möglichst niedrig zu halten, schon mit Rücksicht darauf, dass in Freileitungsnetzen vielfach mit dem Anschluss an vorhandene Durchführungs-Stromwandler mit sehr kleiner Leistungsfähigkeit gerechnet werden muss. Bei der Bewertung der Zahlen für den Energieverbrauch im Stromkreis darf aber nicht vergessen werden, dass der Arbeitsbereich der Brown Boveri-Distanzrelais sich über ein Gebiet erstreckt, innerhalb welchem auch Kurzschlussströme vorkommen, die kleiner sind als die betriebsmässige Vollaststromstärke. Für die Relais LC 2 und LB 2 beträgt der Energieverbrauch im Strompfad 13 VA; für die Relais LB 1 ist mit 33 VA zu rechnen. Diese Zahlen beziehen sich auf die Nennstromstärke der Relais von 5 A. Für den kleinsten Arbeitstrom der Relais betragen die entsprechenden Zahlen sechs und acht Volt-ampere. Aus den zuletzt genannten Zahlen geht klar hervor, dass der Verbrauch im Stromkreis auf einen Mindestwert herabgedrückt wurde.

Die wichtigsten Daten der verschiedenen Relaisarten sind in der nebenstehenden Tabelle I zusammengestellt.

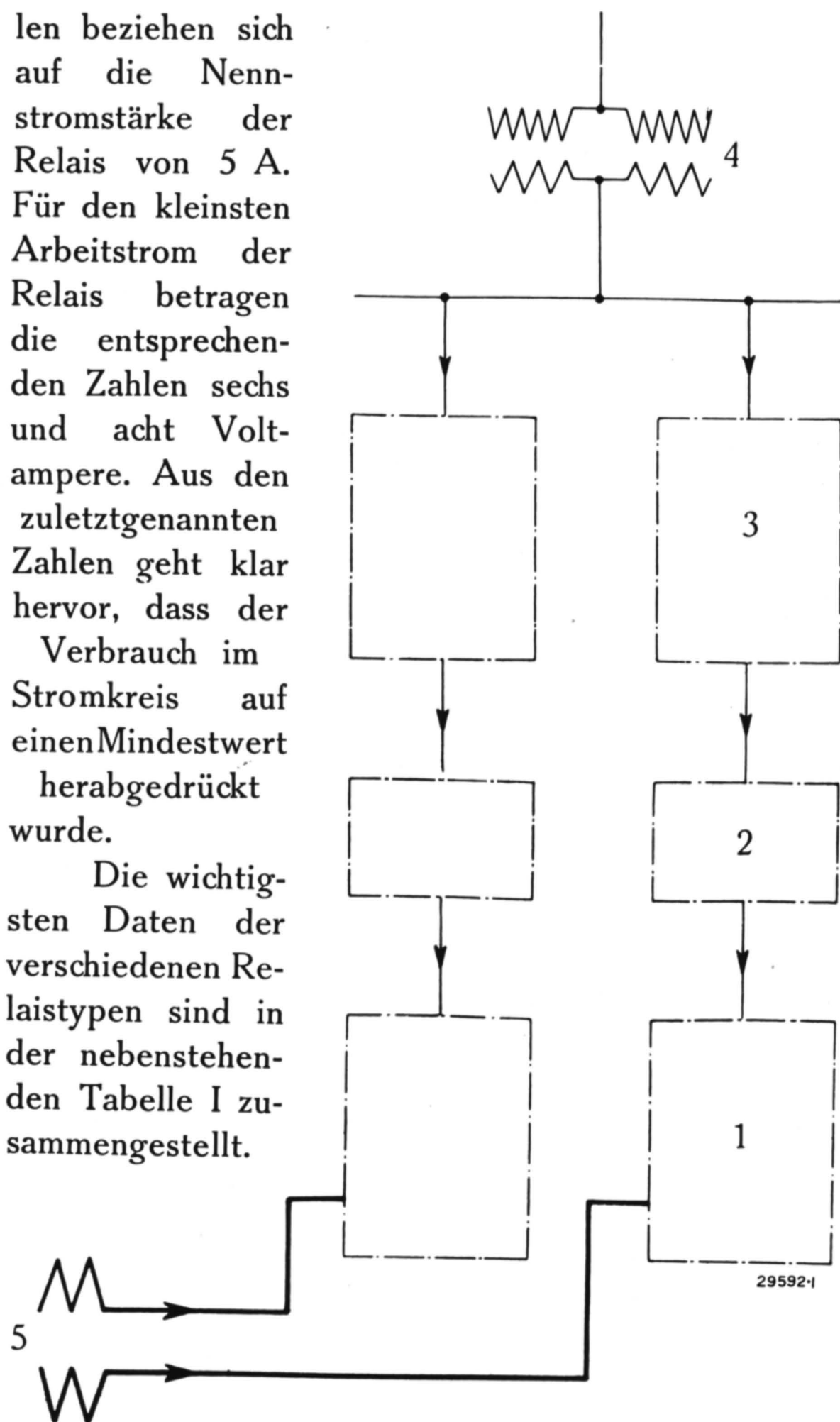


Abb. 3. — Zweirelaischaltung (Arbeitschaltung).

- 1 = Distanzrelais.
- 2 = Abgleichwandler.
- 3 = Umschaltrelais.
- 4 = Spannungswandler.
- 5 = Stromwandler.

III. DIE SCHALTUNGEN DER BROWN BOVERI-DISTANZRELAIS.

Zur Erfassung der verschiedenen Fehlerarten in Freileitungsnetzen wurden nachfolgende Schaltungen entwickelt:

1. *Die Zweirelaischaltung.* Der Schutzbereich dieser Schaltung umfasst alle Kurzschlußstörungen, auch Doppelerdschlüsse, jedoch letztere nur insofern beide innerhalb der gleichen Teilstrecke oder in benachbarten Teilstrecken auftreten. Für den Anschluss der Relais sind Stromwandler in zwei Phasen und zwei Einphasen-Spannungstransformatoren in V-Schaltung erforderlich. Zur vollständigen Ausrüstung für eine abgehende oder ankommende Leitung gehören ferner noch zwei Abgleichwandler und zwei Umschaltrelais. Die Arbeitschaltung geht aus Abb. 3 hervor. Es braucht wohl nicht besonders betont zu werden, dass die Zweirelaischaltung nur für Netze mit isoliertem Nullpunkt verwendet werden kann.

Ein vollkommener Schutz in Netzen mit isoliertem Nullpunkt, der neben den verschiedenen Kurzschlussfehlerarten auch den Doppelerdschluss

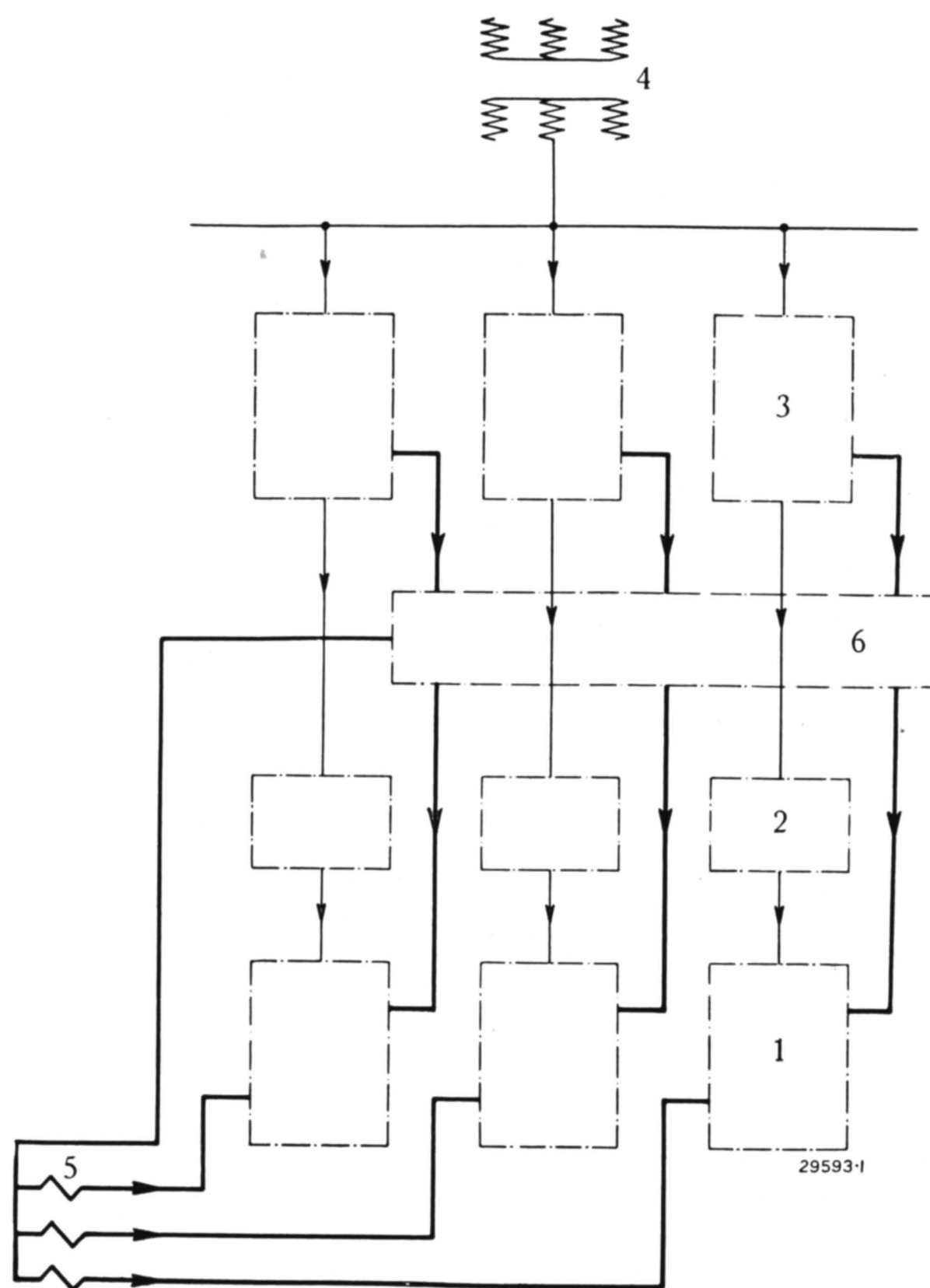


Abb. 4. — Dreirelaischaltung für Netze mit isoliertem Nullpunkt (Arbeitschaltung).

- 1 = Distanzrelais.
- 2 = Abgleichwandler.
- 3 = Umschaltrelais.
- 4 = Spannungswandler.
- 5 = Stromwandler.
- 6 = Summenstromrelais.

umfasst, gleichviel, ob beide Erdschlüsse innerhalb derselben Teilstrecke liegen oder viele Teilstrecken voneinander entfernt sind, bietet:

2. *Die Dreirelaischaltung für Netze mit isoliertem Nullpunkt.* Das Schema dieser Schaltung ist in Abb. 4 dargestellt. Für jeden Leitungsabzweig werden benötigt:

- 3 Distanzrelais mit ihren Abgleichwandlern,
- 3 Umschaltrelais und
- 1 Summenstromrelais.

Durch die Umschaltrelais werden ebenso wie bei der Zweirelaischaltung die verketteten Netzspannungen in zyklischer Folge untereinander verglichen und durch Umschaltung den Distanzrelais diejenige Spannung zugeführt, die für die distanzgetreue Messung erforderlich ist. Eine zweite zusätzliche Funktion der Umschaltrelais ist die Verriegelung derjenigen Distanzrelais, die unter Umständen wohl den Fehlerstrom, jedoch nicht die zugehörige Fehlerspannung bekommen.

3. *Die Dreirelaischaltung für Netze mit geerdetem Nullpunkt.* Die Ausrüstung schützt gegen alle vorkommenden Störungen, d. h. gegen zwei- und dreipolige Kurzschlüsse, isoliert oder über Erde

und ferner gegen Erdschlüsse (einpoleige Kurzschlüsse). In ähnlicher Weise wie bei der vorgenannten Dreirelaischaltung werden auch hier durch Vergleich der verketteten Netzspannungen und durch Messung des Summenstromes den nicht verriegelten Distanzrelais die distanzgetreuen Fehlerspannungen zugeführt. Das Prinzip dieser Schaltung ist aus Abb. 5 ersichtlich.

IV. DIE ANFORDERUNGEN AN STROM- UND SPANNUNGSWANDLER.

Es wäre unzweckmässig, die höchstzulässigen Übersetzungs- und Winkelfehler für die Strom- und Spannungswandler, die für den Anschluss der Distanzrelais und der zugehörigen Apparate benützt werden sollen, vorzuschreiben, denn die Winkelfehler spielen bei der stark induktiven Belastung durch die Relais praktisch keine Rolle, sodass nur noch die Übersetzungsfehler zu berücksichtigen sind. Der Übersetzungsfehler der Stromwandler ist gewöhnlich bei kleiner Primärstromstärke negativ, wird dann in der Nähe der Nennstromstärke gleich Null, um bei grösserer Stromstärke positiv zu werden (Abb. 6). Im Bereiche von Normalstrom bei etwa 10- bis 15-fachem Nenn-

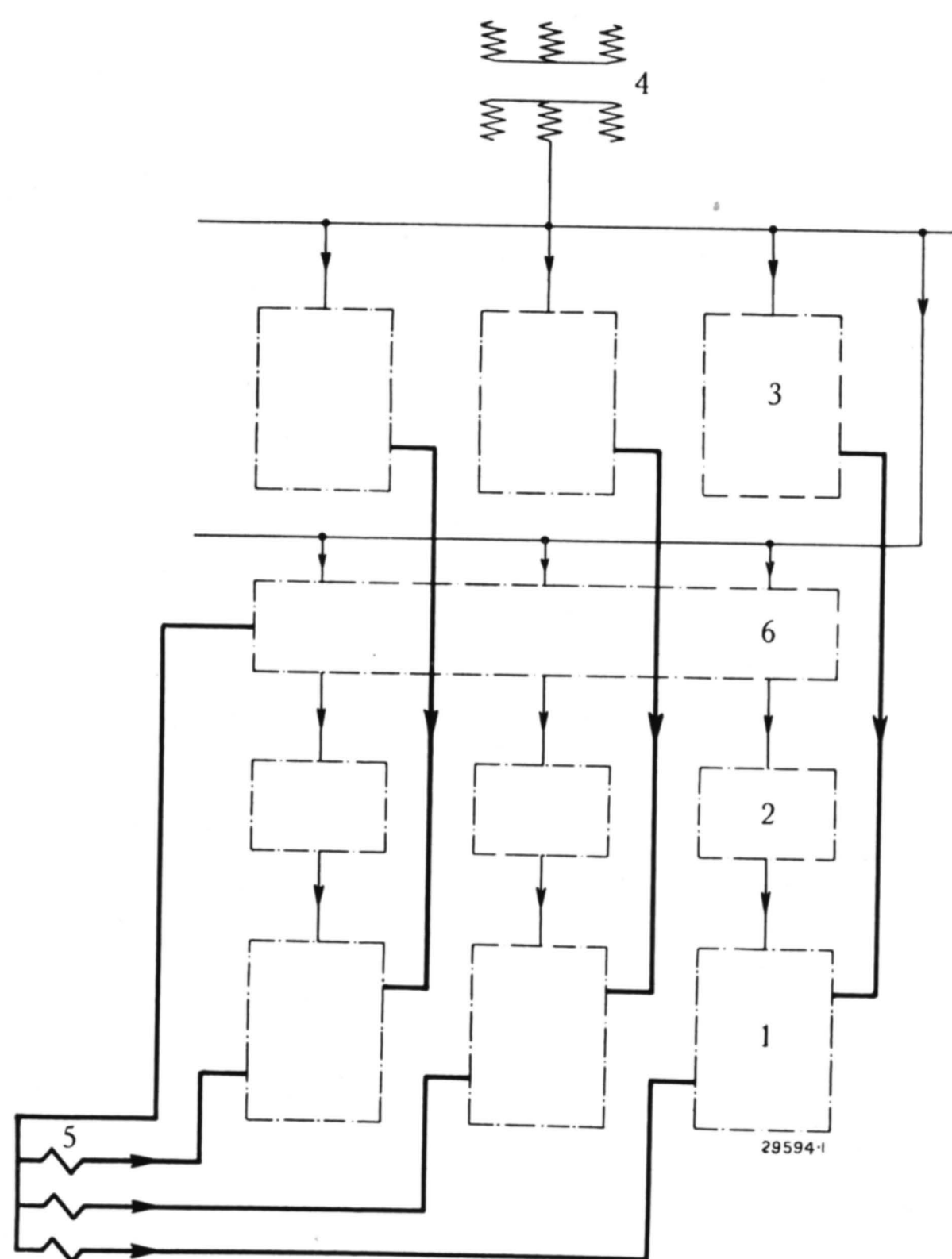


Abb. 5. — Dreirelaischaltung für Netze mit direkt geerdetem Nullpunkt (Arbeitschaltung).

- 1 = Distanzrelais.
- 2 = Abgleichwandler.
- 3 = Umschaltrelais.
- 4 = Spannungswandler.
- 5 = Stromwandler.
- 6 = Summenstromrelais.

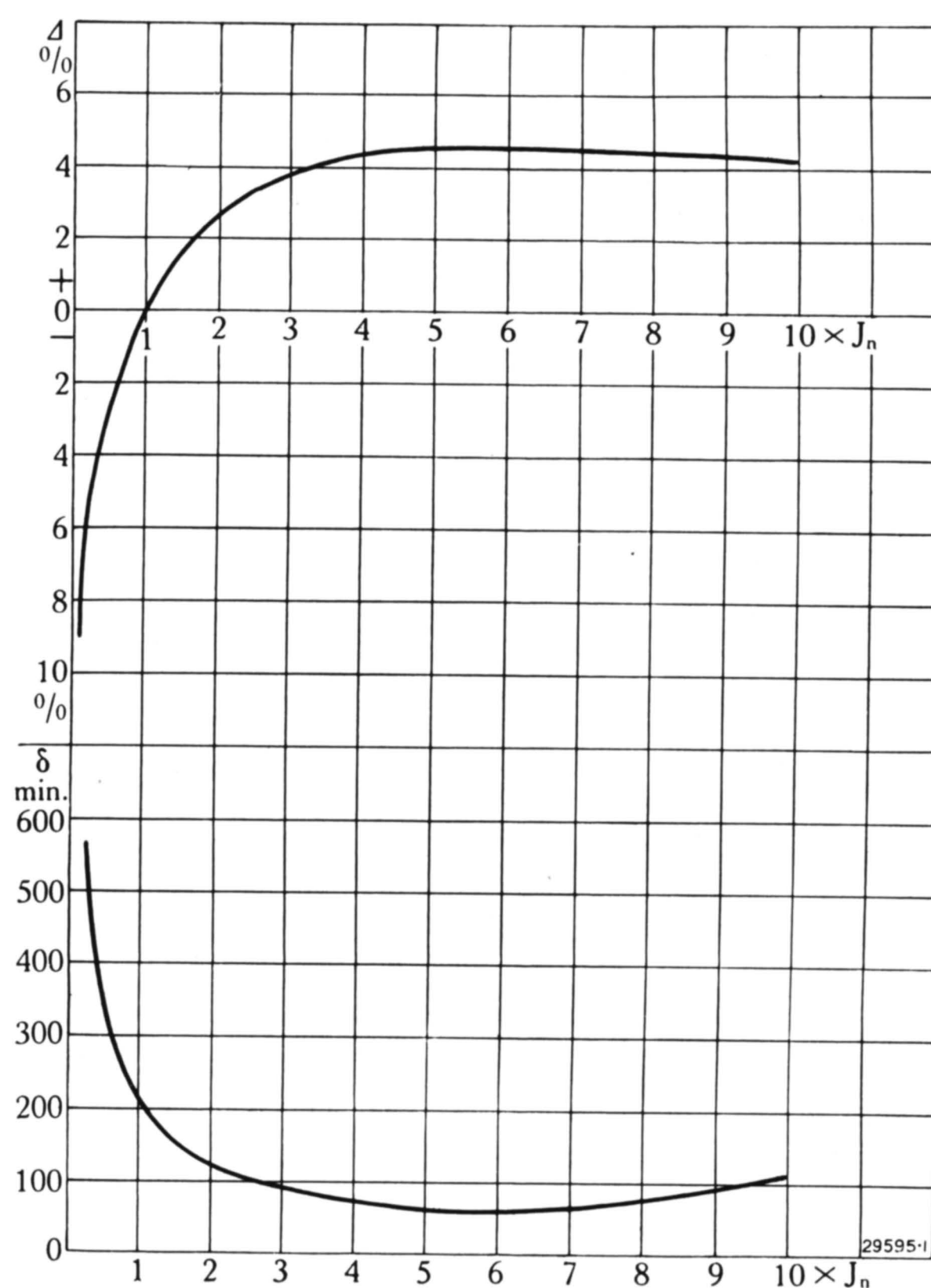


Abb. 6. — Fehlerkurven eines Durchführungs-Stromwandlers 200/5 A, 50 Perioden, bei Belastung durch Distanzrelais.

- Δ = Übersetzungsfehler.
- δ = Winkelfehler.

strom, kann meistens mit einem nahezu konstanten positiven Fehler gerechnet werden. Dieser Fehler kann für den Distanzschutz durch einen prozentual gleich grossen und gleich gerichteten Fehler in der Übersetzung der Spannungswandler ausgeglichen werden. Vielfach wird aber das Übersetzungsverhältnis der Spannungswandler bei Leerlauf abgestimmt, sodass bei Belastung ein negativer Fehler auftritt. In diesem Falle werden sich der positive Fehler des Stromwandlers und der negative des Spannungswandlers nicht aufheben und bei der Messung am Ohmmeter der Distanzrelais einen grösseren Fehler hervorrufen. Aber sogar diese grösseren Fehler werden die Selektivität des Schutzsystems nicht beeinträchtigen, wenn überall im Netz gleiche Wandler oder Wandler mit ähnlichen Fehlerkurven verwendet werden. Schliesslich können durch Abgleichung der Wandlerübersetzungen die Übersetzungsfehler in den meisten Fällen bedeutend ausgeglichen werden.

Die Belastbarkeit der Ölstromwandler (Kübelstromwandler) und allgemein derjenigen Stromwandler, deren Primärwicklung aus mehreren Windungen besteht, reicht auch bei kleineren Übersetzungen für den Anschluss der Distanzrelais aus. Ungünstiger liegen die Verhältnisse für Durchführungs- und Klemmenstromwandler mit nur einem einzigen Stab oder Bolzen als Primärwicklung bei kleinem Primärstrom. Die untere Grenze für die Verwendbarkeit dieser Wandler dürfte bei etwa 200 A liegen. Werden solche Wandler in Ölschalterdurchführungen eingebaut, dann können die beiden Durchführungen, die zusammen einen Pol des Schalters bilden, je mit einem Stromwandler ausgerüstet werden. Die Belastbarkeit kann durch Serieschaltung der beiden Wandler auf das Doppelte erhöht, die untere Grenze der Verwendbarkeit dadurch auf entsprechend niedrigere Ströme ausgedehnt werden.

V. DIE WAHL DER RELAISTYPE UND DER RELAISSCHALTUNG.

1. *Das Übersetzungsverhältnis der Stromwandler liegt nicht fest.* Dieser Fall liegt vor, wenn neue Anlagen oder Erweiterungen bereits bestehender Anlagen zu projektieren sind, oder die vorhandenen Stromwandler den verlangten Schutzanforderungen nicht genügen. Das Übersetzungsverhältnis der Stromwandler ist nun so zu wählen, dass dem auf der Primärseite zu erwartenden kleinsten Kurzschlußstrom auf der Sekundärseite der Minimalstrom der Relais entspricht. Es ist dabei für den Schutz vollständig belanglos, ob die Relaiatype LB 1 oder die Type LB 2 gewählt wird.

Der kleinste Kurzschlußstrom soll keinesfalls kleiner angesetzt werden, als er zu erwarten ist, um zu erreichen, dass die Relais auch bei den höchsten zu erwartenden Kurzschlußströmen noch im günstigsten Stromgebiete arbeiten. Dieses Stromgebiet der Relais umfasst Ströme zwischen Minimalstrom und etwa 30-fachem Wert.

Andererseits soll der im normalen Betrieb vorkommende grösste Belastungsstrom unterhalb des Primärstromes des Stromwandlers liegen, um zu verhindern, dass die Wandler überlastet werden. Rücksicht auf Überlastung der Relais braucht im allgemeinen nicht genommen zu werden, da sie dauernd um 100% überlastbar sind. Wird die vorerwähnte Bedingung für beide Relaiotypen (LB 1 und LB 2) erfüllt, dann empfiehlt sich die Verwendung der Wandler mit der grösseren Übersetzung und der Einbau der Relaiatype LB 1, wenn nicht andere Gründe für die Verwendung der kleineren Übersetzung sprechen, beispielsweise die im letzteren Falle grössere Anzeigegenauigkeit der anzuschliessenden Messinstrumente.

Zur Erläuterung diene folgendes Beispiel:

Der kleinste Kurzschlußstrom betrage 80 A. Bei Verwendung der Type LB 1 sind Wandler mit Übersetzung $\frac{80}{0,33 \times 5} = \frac{240}{5}$ A, bei Verwendung der Type LB 2, Wandler mit Übersetzung $\frac{80}{0,66 \times 5} = \frac{120}{5}$ A vorzuschlagen.

Es sei ferner der Betriebsstrom zu 100 A angenommen. Dann besteht in Bezug auf Überlastung der Wandler im Normalbetrieb volle Freiheit für die Wahl der einen oder andern Relaiatype, wenn auch die Wahl der Relaiatype LB 2 und der zu dieser Wahl passenden Wandlerübersetzung $\frac{120}{5}$ A an die Kurzschlussfestigkeit der Wandler erhöhte Anforderungen stellt.

Beträgt dagegen der Betriebsstrom 180 A, dann ist die Wahl der Relaiatype und der Wandlerübersetzung dadurch festgelegt. Es kommt jetzt nur die Type LB 1 und die Übersetzung $\frac{240}{5}$ A für die Wandler in Betracht, da die Wandler $\frac{120}{5}$ A bei Belastung mit 180 A eine 50% Überlastung auszuhalten hätten.

2. *Das Übersetzungsverhältnis der Stromwandler liegt fest.* Bei vorhandenen Stromwandlern, d. h. bei gegebener Übersetzung erlauben die beiden Relaiotypen LB 1 und LB 2 ebenfalls weitgehende Anpassungsmöglichkeit.

Es sei nochmals auf das vorerwähnte Beispiel zurückgegriffen. Die vorhandenen Stromwandler haben das Übersetzungsverhältnis $\frac{100}{5}$ A. Dementsprechend beträgt der Minimalstrom auf der Sekundärseite der Wandler 4 A. Somit kann jetzt sowohl die Relaiatype LB 1 als auch die Type LB 2 verwendet werden. Die Wahl der Type richtet sich nun nach dem grössten Kurzschlußstrom. Unter Annahme eines Höchststromes von 1600 A (16-facher Normalstrom, 20-facher Minimalstrom) ergibt sich die Verwendung der Relaiatype LB 2 als die vorteilhafteste, denn bei der Relaiatype LB 1 soll der Relaisstrom 50 A möglichst nicht überschreiten, damit

die Relais in ihrem günstigsten Gebiet arbeiten. Würde dagegen die Stromwandlerübersetzung $\frac{200}{5}$ A betragen, so wäre der sekundäre Minimalstrom $\frac{80}{200} \times 5 = 2$ A. Es könnte nur noch die Relais-type LB 1 in Frage kommen. Der größte Relaisstrom würde sich in diesem Falle auf 40 A belaufen, also ohne weiteres zulässig sein.

Der Kurzschlußstrombereich (kleinster bis größter Kurzschlußstrom) ist für jedes Netz durch einfache Rechnung nach einem der vielen aus der Literatur bekannten Rechnungsverfahren zu ermitteln. Für die Bestimmung des größten Kurzschlußstromes ist der höchste Maschineneinsatz, für die Bestimmung des kleinsten Kurzschlußstromes die kleinste Maschinenleistung in die Rechnung einzusetzen. Wie bereits erwähnt, soll der kleinste Kurzschlußstrom nicht durch Wahl eines Sicherheitsfaktors unnötig tief angesetzt werden, denn für das Ansprechen der Relais darf immer mit einem Strom gerechnet werden, der bedeutend über dem Minimalstrom liegt, da die Ansprechzeit der Relais viel kleiner ist als die Zeit, die der Kurzschlußstrom braucht, um auf seinen Dauerwert abzuklingen. Haben die Relais angesprochen, so arbeiten sie auch dann weiter, wenn der Minimalstrom auf einen Wert abklingt, der unterhalb des für die betreffende Relais-type angegebenen kleinsten Arbeitstromes liegt, wie dies durch zahlreiche Netzversuche einwandfrei bestätigt wurde.

In ausgedehnten Höchstspannungsnetzen, die von mehreren, meist weit voneinander entfernten Zentralen grosser Leistung gespeist werden, und in denen die Transformierung der Generatorspannung auf die Netzspannung durch Transformatoren mit hoher Kurzschlußspannung stattfindet, ist in den ungünstigsten Fällen mit einem höchsten Kurzschlußstrom in der Größe des zehnfachen Nennstromes zu rechnen. In Mittelspannungsnetzen mit mehr örtlichem Charakter, deren Speisepunkte dichter beieinander liegen, können die höchsten Kurzschlußströme dagegen den Wert des zwanzigfachen Nennstromes erreichen. Der Strombereich, innerhalb dessen die Distanzrelaistypen arbeiten, wurde diesen Verhältnissen angepasst. Die Relais-type LB 1 eignet sich ganz besonders für Höchstspannungsnetze, erstens wegen des Strombereichs ($\frac{1}{3} J_n$ bis $10 J_n$) und zweitens wegen des Messbereichs des Ohmmeters (10 Ohm). Die Relais-typen LB 2 und LC 2 (Strombereich $\frac{2}{3} J_n$ bis $20 J_n$ und Messbereich fünf Ohm) eignen sich mehr für die Verwendung in Mittelspannungsnetzen.

Die Wahl der Schaltung richtet sich nach folgenden Gesichtspunkten:

Netze mit geerdetem Nullpunkt, wozu auch die Netze gehören, deren Nullpunkt über einen niederohmigen Widerstand geerdet ist, verlangen immer einen dreipoligen Schutz. Es kommt hier nur die Dreirelais-schaltung nach Abb. 5 in Frage.

Für Netze mit isoliertem Nullpunkt, deren Nullpunkt entweder gar nicht oder über einen hochohmigen Widerstand oder eine Löschspule geerdet ist, empfiehlt sich die Dreirelais-schaltung nach Abb. 4. Für die beiden vorerwähnten Schaltungen sind reine Reaktanzrelais Type LB 1 oder LB 2 zu verwenden.

Um den Einbau von Strom- und Spannungswandlern in die dritte Phase zu umgehen, z. B. der Kosten oder der beschränkten Platzverhältnisse wegen, kann unter Verzicht auf den Schutz gegen Doppelerdschlüsse über viele Teilstrecken die Zweirelais-schaltung nach Abb. 3 benützt werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass in Mittelspannungsnetzen mit der Zweirelais-schaltung, unter Verwendung der Relais-type LC 2, durchaus befriedigende Ergebnisse erzielt werden können.

Nachstehend sind die verschiedenen Relais-schaltungen, ihr Schutzbereich sowie die Gesichtspunkte für die Wahl der Schaltung und der Relais-type in Form einer Tabelle II zusammengestellt.

TABELLE II.

Netz-Nullpunkt	Netzcharakter	Kleinst- und größter Kurzschlußstrom	Relais-type	Relais-schaltung	Schutzbereich	Strom- und Spannungswandler
geerdet	beliebig	$\frac{1}{3} \cdot J_n$ bis $10 \cdot J_n$	LB 1	Abb. 5	Zwei- und dreipolige Kurzschlüsse, Erdschlüsse	Stromwandler in drei Phasen, drei Einphasenspannungswandler oder ein Dreiphasenspannungswandler mit primär geerdetem Nullpunkt.
		$\frac{2}{3} \cdot J_n$ bis $20 \cdot J_n$	LB 2	Abb. 5		
isoliert	beliebig	$\frac{1}{3} \cdot J_n$ bis $10 \cdot J_n$	LB 1	Abb. 4	Zwei- und dreipolige Kurzschlüsse, Doppelerdschlüsse	
		$\frac{2}{3} \cdot J_n$ bis $20 \cdot J_n$	LB 2	Abb. 4		
isoliert	Mittelspannungsnetze mit mehr örtlichem Charakter	$\frac{2}{3} \cdot J_n$ bis $20 \cdot J_n$	LC 2	Abb. 3	Zwei- und dreipolige Kurzschlüsse	Stromwandler in zwei Phasen, zwei Einphasenspannungswandler in V-Schaltung.

Es sei schliesslich noch erwähnt, dass die Dreirelais-schaltung für Netze mit isoliertem Nullpunkt auf einfache Weise in die Dreirelais-schaltung für Netze mit geerdetem Nullpunkt übergeführt werden kann. Dieser Umstand ist von Vorteil für Betriebe, die beabsichtigen, durch Umschaltung ihrer Transformatoren von Dreieck auf Stern, die Betriebsspannung ihres Netzes zu erhöhen, und gleichzeitig den Nullpunkt der Transformatoren auf der Sternseite unmittelbar zu erden (z. B. Übergang von 60 auf 110 kV, von 87 auf 150 kV).

VI. DIE ANPASSUNG DES DISTANZRELAIS-SCHUTZES AN BESTIMMTE NETZVERHÄLTNISSE.

Nachdem für ein gegebenes Netz Schaltung und Relaisart bestimmt sind, hat noch ihre Einstellung und die Kontrolle der aus dieser Einstellung sich ergebenden Auslösezeiten zu erfolgen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass jeder Distanzrelaisausrüstung eine doppelte Aufgabe zufällt:

1. Die Überwachung und der Schutz der betreffenden Teilstrecke und
2. die Reservestellung für die an diese anstossende Teilstrecke.

Die Forderung, dass nur die fehlerhaften Teilstrecken abgeschaltet werden dürfen, bedingt, dass für jede Kurzschlussart und für jede Kurzschlußstelle innerhalb einer Teilstrecke nur die Distanzrelais dieser Teilstrecke den Befehl zur Auslösung ihrer Ölschalter zu erteilen haben, während die Reserverelais der anstossenden Strecken nur dann diesen Befehl übermitteln müssen, wenn dem erteilten Befehl der ersten Relais aus irgendeinem Grunde nicht nachgekommen wird. Dieser Grund kann z. B. im Versagen der Auslöseatterie, in einer Störung am Auslösemechanismus des Ölschalters oder im Versagen des Ölschalters selbst liegen. Zur Trennung der beiden Tätigkeiten der Distanzrelais, der Auslösung und der Reservestellung, genügt bei normaler Abschaltzeit für die Ölschalter in der Regel eine Zeitabstufung von einer Sekunde.

Am einfachsten liegen die Verhältnisse, wenn der Einstellung der Relais der Kurzschluss zwischen zwei Phasen zugrunde gelegt wird. Da die Relais an die verketteten Spannungen angeschlossen sind, wird vom Ohmmeter die Reaktanz der Kurzschlußschleife gemessen. Diese entspricht dem doppelten Werte der Reaktanz einer Phase. Bei den andern Kurzschlussarten (dreipoliger Kurzschluss, Doppelerdschluss) werden praktisch die gleichen Zeiten gemessen.

Die Schleifenreaktanz einer Teilstrecke hängt ab von der Länge der Strecke und von der Leitungsreaktanz je Kilometer Schleife. Die Leitungsreaktanz je Kilometer Schleife ist wieder abhängig von der Anordnung der Leiter, von ihrem Durchmesser und von ihren gegenseitigen Abständen. Für die Bestimmung der Reaktanz sollte das Stangenbild der betreffenden Teilstrecke die vorerwähnten Angaben enthalten. Dort wo diese Angaben fehlen, kann mit einem Mittelwert für die Reaktanz von 0,8 Ohm je Kilometer Schleife gerechnet werden.

Die von den Distanzrelais gemessene Reaktanz ist aus der Leitungsreaktanz zu berechnen, unter Berücksichtigung der Übersetzung der Netzwandler. Bezeichnet:

$U_e = \frac{E}{e}$ die Übersetzung der Spannungswandler,

$U_i = \frac{J}{i}$ die Übersetzung der Stromwandler,

X die Primärreaktanz der betrachteten Teilstrecke,
 x_s die Sekundärreaktanz der betrachteten Teilstrecke,
 so ist:

$$x_s = \frac{X}{U_e U_i}$$

Aus der Wahl der Distanzrelaisart ergibt sich die diese Type kennzeichnende äussere Charakteristik (Auslösezeit in Abhängigkeit von der Messreaktanz des Ohmmeters) und die Reaktanz an den Klemmen des Ohmmeters für eine bestimmte Laufzeit. In Abb. 7 sind die äusseren Charakteristiken für die verschiedenen Relaisarten dargestellt. Wird beispielsweise verlangt,

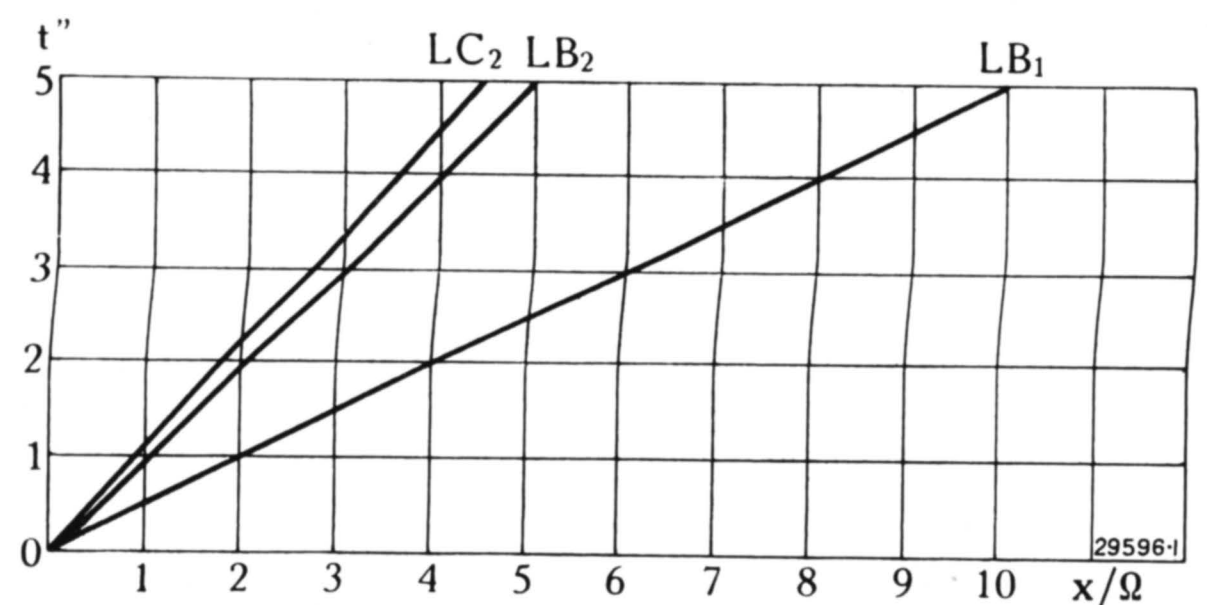


Abb. 7. — Äussere Charakteristik (Auslösezeit in Sekunden in Abhängigkeit von der Messreaktanz in Ohm des Ohmmeters) für die verschiedenen Distanzrelaisarten. Die Kurve für die Relaisart LC_2 gilt für $\cos \varphi = 0,3$ bis $0,7$.

dass für einen Kurzschluss am Ende einer Teilstrecke die Auslösezeit für die Relais am Anfang der betreffenden Teilstrecke eine Sekunde betragen soll, so bedingt diese Forderung die Umwandlung der Sekundärreaktanz x_s auf den Wert der Messreaktanz für eine Sekunde am Ohmmeter der Relais. Diese Umwandlung der Sekundärreaktanz, die sogenannte Abgleichung, kann mit Hilfe eines Abgleichwandlers im Strom- oder im Spannungskreis der Relais oder in beiden zusammen vorgenommen werden. Im erstern Falle wird die Übersetzung $\frac{\text{Netzstrom}}{\text{Relaisstrom}}$, im zweiten

Falle die Übersetzung $\frac{\text{Netzspannung}}{\text{Relaisspannung}}$ und im dritten Falle werden beide geändert. Die Abgleichung bezieht sich ausnahmslos nur auf das Zeitmessorgan der Relais und nicht auf ihr Impedanzansprechorgan, das immer unmittelbar an die Sekundärseite der Netzwandler angeschlossen wird.

Die Abgleichung im Stromkreis durch einen Zwischenstromwandler weist verschiedene Nachteile auf. Es würde zu weit führen, sie alle zu nennen. Erwähnt sei deshalb nur, dass die Stromwandler meistens im Vergleich zu den Spannungswandlern eine viel kleinere Belastbarkeit aufweisen und dass das Einfügen des Abgleichwandlers in den Stromkreis für die Stromwandler eine zusätzliche Belastung bedeuten würde. Schon aus diesem Grunde erweist sich die Abgleichung im Spannungskreis als die vorteilhafteste.

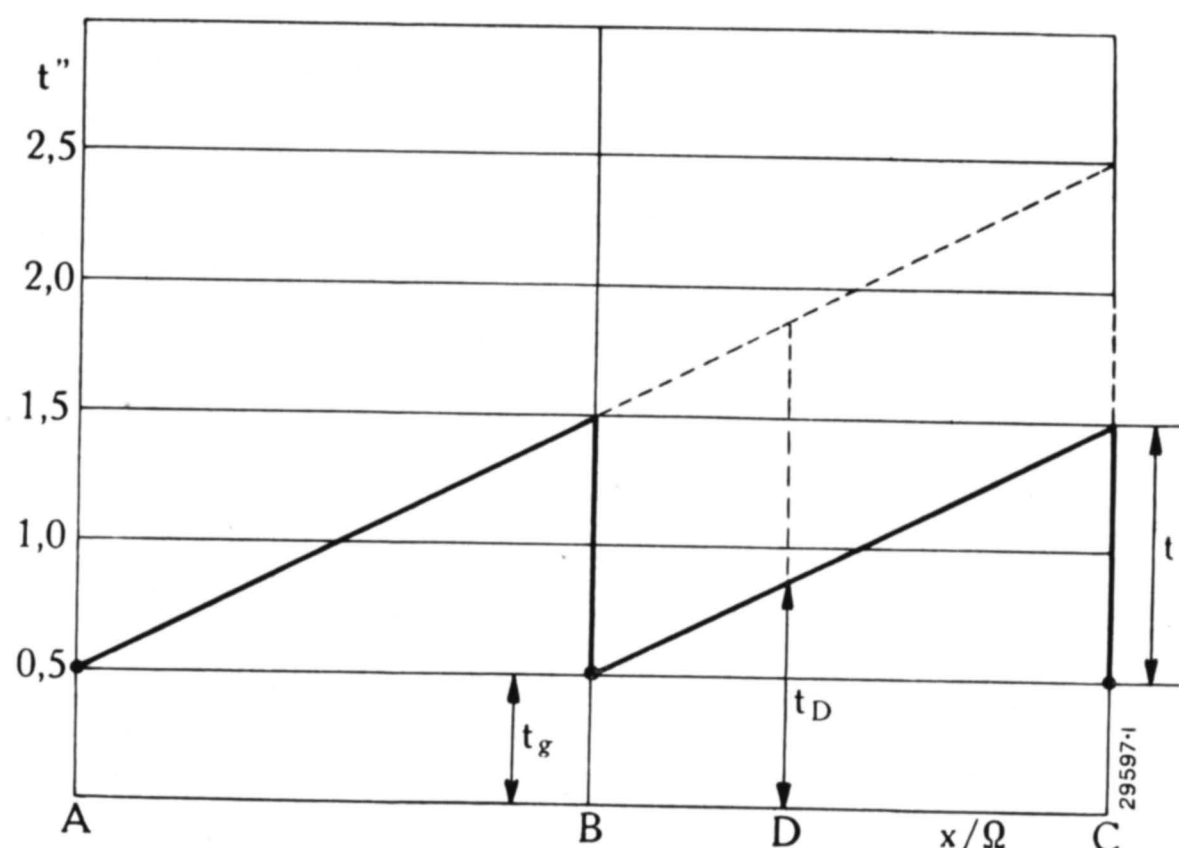


Abb. 8. — Graphische Darstellung der Auslösezeit.

 t_g = Grundzeit (0,5 sec). t = Selektierzeit für die Teilstrecke BC (1 sec). t_D = Auslösezeit der Distanzrelais in B für einen Kurzschluss im Punkt D.

Der Abgleichwandler ist ein kleiner Spannungstransformator in Sparschaltung. Primärseitig wird er an die Sekundärspannung des Netzspannungswandlers angeschlossen. Auf der Sekundärseite kann ihm eine Spannung von 0 bis 100%, regelbar in Stufen von 1% oder eine Spannung von 0 bis 200%, regelbar in Stufen von 2% der ihm primär zugeführten Spannung entnommen werden. Bezeichnet:

N die Anzapfungszahl auf der Klemmenplatte des Abgleichwandlers,

U_e' die Spannungsübersetzung des Netzwandlers zusammen mit dem Abgleichwandler,

x_s' die Sekundärreaktanz der betrachteten Teilstrecke, bezogen auf die Sekundärseite des Abgleichwandlers, so ist

$$U_e' = \frac{E}{\frac{N}{100}e} = \frac{100 E}{N e} = \frac{100}{N} U_e$$

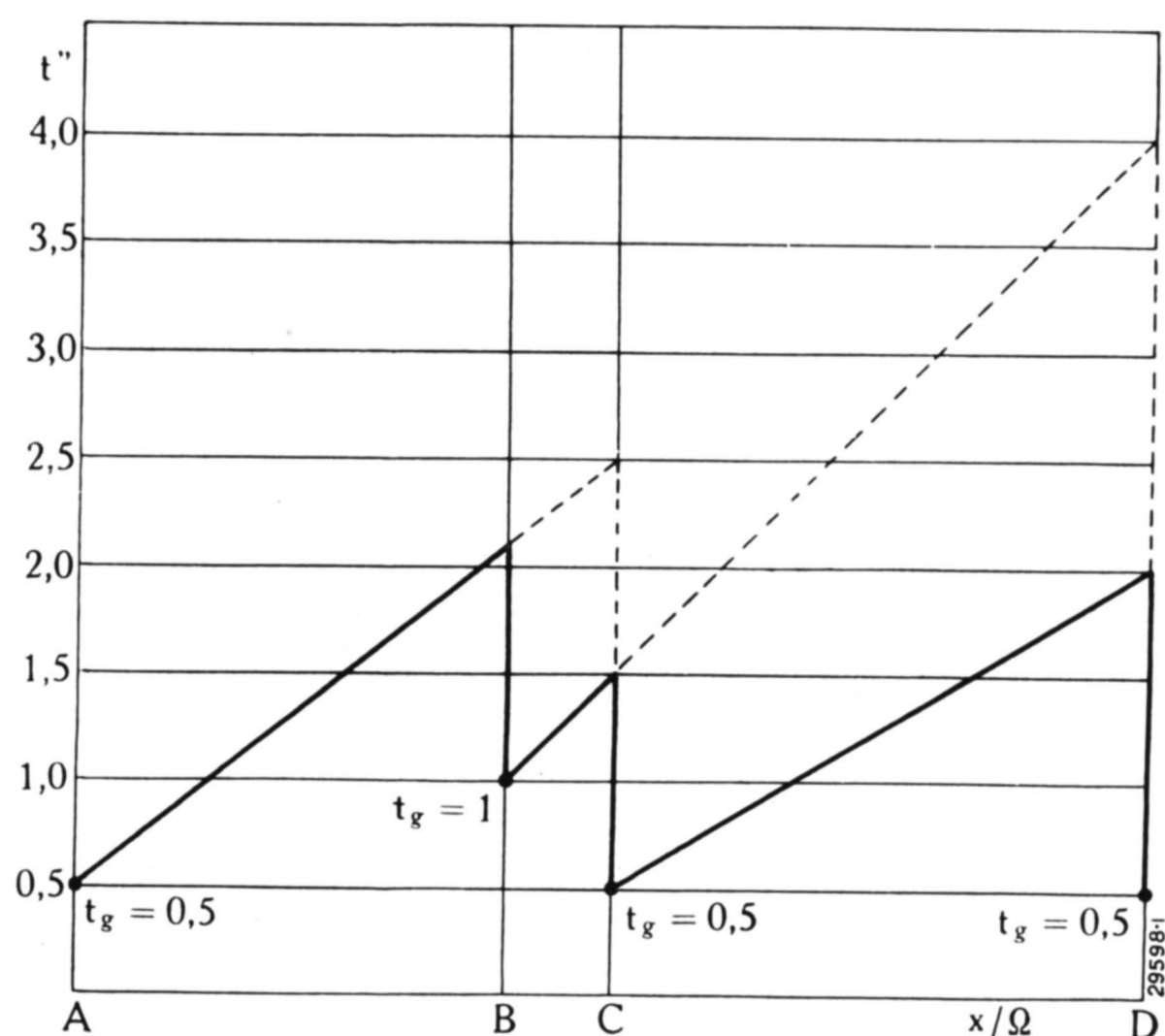


Abb. 9. — Graphische Darstellung der Auslösezeit. Verbesserung der Selektivität für besonders kurze Teilstrecken durch Staffelung der Grundzeiten an den Relais.

und folglich

$$x_s' = \frac{X}{U_e'} = \frac{N}{100} \frac{X}{U_e}$$

Wird für eine Teilstrecke eine Auslösezeit t verlangt und bedeutet x die Messreaktanz des Ohmmeters für eine Laufzeit von einer Sekunde, so wird nach erfolgter Abgleichung:

$$xt = x_s' = \frac{N}{100} \frac{X}{U_e}$$

oder

$$N = 100 \frac{xt}{X} \frac{U_e}{U_i}$$

Am besten lassen sich die Verhältnisse an einem einfachen Beispiel überblicken. Sei AB (Abb. 8) eine Teilstrecke von einer Länge von 20 km, die Übersetzung der Spannungswandler angenommen zu 11000/110 V, die Übersetzung der Stromwandler zu 200/5 A. Es

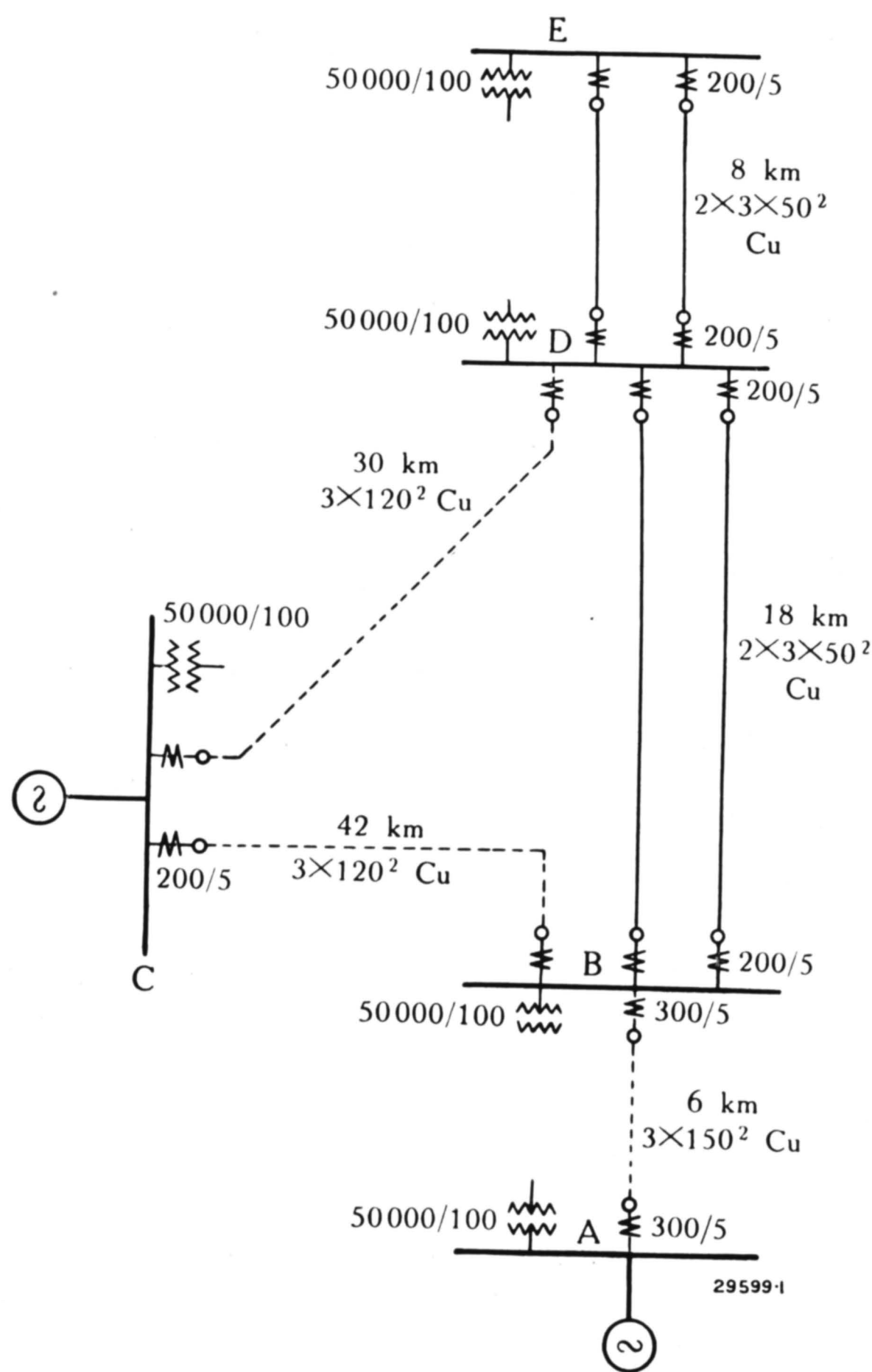


Abb. 10. — Netzplan.

----- = Kabel.

———— = Freileitung.

○ = Distanzrelais.

wird eine Auslösezeit für die Teilstrecke von 1,6 Sekunden verlangt, bei Verwendung der Relaisart LB 2. Für diesen Fall ist:

$$U_e = \frac{11000}{110} = 100$$

$$U_i = \frac{200}{5} = 40$$

$$x = 1 \, \Omega/\text{sec}$$

$$X = 20 \times 0,8 = 16 \, \Omega$$

$$t = 1,6 \, \text{sec}$$

somit
$$N = 100 \frac{1 \times 1,6}{16} \cdot \frac{100}{40} = 25$$

Die Auslösezeit für eine beliebige Fehlerstelle innerhalb einer Teilstrecke kann auf sehr einfache Weise aus einer graphischen Darstellung abgelesen werden, wenn in wagrechter Richtung die Primärreaktanz, in senkrechter Richtung die Auslösezeit aufgetragen werden. Am Anfang der Teilstrecke ist die Auslösezeit t_g , am Ende der Teilstrecke $= t + t_g$. Über die Teilstrecke verläuft die Auslösezeit gradlinig. In Abb. 8 ist für die Teilstrecken AB und BC die Zeitgerade eingetragen. Für einen Kurzschluss im Punkt D beträgt die Auslösezeit t_D . Die Zeitgerade der Teilstrecke AB ist über die anschließende Teilstrecke BC hinaus zu verlängern, um beurteilen zu können, ob die Zeitabstufung der Distanzrelais in A und in B richtig gewählt ist. Der Unterschied in der Auslösezeit soll nicht kleiner als etwa eine Sekunde sein.

Die an jedem Relais zwischen 0,5 und 2 Sekunden einstellbare Grundzeit t_g kann zur Verbesserung der Zeitstaffelung herangezogen werden. Bei annähernd gleich langen Teilstrecken wird die Grundzeit in der Regel für alle Relais gleich und zwar zu 0,5 Sekunden gewählt. Nur wenn zu geringe Leistungsfähigkeit der Ölschalter dies erfordert, wird die Grundzeit für alle Relais höher eingestellt. In Fällen, wenn besonders kurze und lange Teilstrecken zusammenstossen, wird eine höhere Einstellung der Grundzeit für einzelne Relais von Vorteil sein. Dies dürfte ohne weiteres aus der Abb. 9 ersichtlich sein.

Kurz zusammengefasst besteht die Anpassung der Distanzrelais-Ausrüstungen an bestimmte Netzverhältnisse in:

1. der richtigen Wahl der Anzapfungszahl N am Abgleichwandler (eine Veränderung der Zahl N bewirkt eine Änderung der Neigung der Zeitgerade);
2. der richtigen Wahl der Grundzeit t_g am Relais (eine Veränderung der Grundzeit bewirkt eine parallele Verschiebung der Zeitgerade).

Die Erfahrung hat gezeigt, dass diese beiden Massnahmen genügen, um sogar in den schwierigsten Fällen eine einwandfreie Zeitstaffelung zu erreichen.

VII. PRAKTISCHES BEISPIEL FÜR DIE ABGLEICHUNG.

An Hand eines Beispiels soll noch gezeigt werden, wie sich die Abgleichung für ein gegebenes Netz auf einfache Weise rechnerisch durchführen lässt.

Es handelt sich um ein 50-kV-Drehstromnetz mit isoliertem Nullpunkt (Abb. 10). Verlegt sind Dreiphasenkabel mit Papierisolation, wobei jeder Leiter von einer geerdeten Bleihülle umgeben ist. Die Freileitungen sind als Doppelleitungen ausgeführt, die Anordnung der Leiter entspricht der bekannten Tannenbaumanordnung mit einem Erdseil. Die weiteren Daten für die Teilstrecken können der Abbildung entnommen werden. Das Beispiel ist sehr lehrreich, weil das Netzgebilde eine möglichst heterogene Zusammenstellung aufweist: Einfach- und Doppelleitungen, einen Ring mit doppelter Speisung, zudem Kabel- und Freileitungstrecken mit stark verschiedenen Längen. Trotzdem die Umstände für eine einwandfreie Abgleichung sehr ungünstig liegen, wird sich später zeigen, dass auch hier die Bedingungen, die an eine richtige Zeitstaffelung gestellt werden können, sich restlos erfüllen lassen unter Beibehaltung kurzer Auslösezeiten.

In der folgenden Tabelle sind für die verschiedenen Teilstrecken der Widerstand, die Reaktanz und die Impedanz sowie die Phasenverschiebung der Leitung eingetragen. Die Ohmwerte beziehen sich alle auf eine Schleife mit einer einfachen Länge von einem Kilometer (Hin- und Rückleitung also zwei Kilometer). Jede Teilstrecke wird zweimal erwähnt, wenn in den beiden Stationen, die durch die betreffende Strecke verbunden sind, Distanzrelais eingebaut werden.

Aus der Tabelle geht hervor, dass die Kabelstrecken im vorliegenden Falle mit Vorteil durch Freileitungsrelais (Reaktanzrelais) geschützt werden können, denn wenn auch für die Kabel die Reaktanz je Kilometer Schleife bedeutend kleiner ist als diejenige der

TABELLE III.

Sta- tion	Teilstrecke	Widerstand	Reaktanz	Impedanz	$\cos \varphi$
		r	x	z	$\frac{r}{z}$
		Ohm je Schleife, je km			$\frac{r}{z}$
A	A — B	0.23	0.24	0.34	0.685
B	B — A	0.23	0.24	0.34	0.685
	B — C	0.29	0.26	0.39	0.745
	B — D I	0.70	0.80	1.07	0.660
	B — D II	0.70	0.80	1.07	0.660
	C — B	0.29	0.26	0.39	0.745
C	C — D	0.29	0.26	0.39	0.745
	D — C	0.29	0.26	0.39	0.745
D	D — B I	0.70	0.80	1.07	0.660
	D — B II	0.70	0.80	1.07	0.660
	D — E I	0.70	0.80	1.07	0.660
	D — E II	0.70	0.80	1.07	0.660
	E — D I	0.70	0.80	1.07	0.660
	E — D II	0.70	0.80	1.07	0.660

TABELLE IV.

Sta- tion	Teil- strecke	Länge km	Primär- reaktanz Ohm	Wandlerüber- setzung		$\frac{U_e}{U_i}$	Sekun- därreak- tanz Ohm
				Spannung U_e	Strom U_i		
A	A-B	6	1.44	50 000/100	300 5	8.3	0.17
B	B-A	6	1.44	"	"	"	0.17
	B-C	42	10.92	"	200/5	12.5	0.88
	B-D I	18	14.4	"	"	"	1.15
	B-D II	18	14.4	"	"	"	1.15
C	C-B	42	10.92	"	"	"	0.88
	C-B	30	7.8	"	"	"	0.62
D	D-C	30	7.8	"	"	"	0.62
	D-B I	18	14.4	"	"	"	1.15
	D-B II	18	14.4	"	"	"	1.15
	D-E I	8	6.4	"	"	"	0.51
E	D-E II	8	6.4	"	"	"	0.51
	E-D I	8	6.4	"	"	"	0.51
	E-D II	8	6.4	"	"	"	0.51

TABELLE V.

Sta- tion	Teil- strecke	Anzap- fung für 1" Aus- lösezeit %	Einstellung der Relais			Ansprech- strom Summen- stromrelais in A
			Anzap- fung %	Selektier- zeit sec	Grund- zeit sec	
A	A — B	588	200	0.34	1.2	3,3
B	B — A	588	200	0.34	0.5	3,3
	B — C	114	142	1.25	0.5	5
	B — DI	87	122	1.4	0.5	5
	B — DII	87	122	1.4	0.5	5
C	C — B	114	130	1.14	0.5	5
	C — D	162	178	1.1	0.5	5
D	D — C	162	178	1.1	0.5	5
	D — BI	87	104	1.2	0.5	5
	D — BII	87	104	1.2	0.5	5
	D — EI	196	196	1	0.5	5
E	D — EII	196	196	1	0.5	5
	E — DI	196	196	1	0.5	5
	E — DII	166	196	1	0.5	5

Freileitungen, so ist doch die Phasenverschiebung praktisch überall gleich gross.

Für die Zeitstaffelung der Reaktanzrelais ist allein die Reaktanz der Teilstrecken zu berücksichtigen, so-
dass für die Abgleichung nur mit den Reaktanzen weiter gerechnet wird. Die Primärreaktanz der ver-
schiedenen Teilstrecken wird zuerst in die Sekundär-
reaktanz umgewandelt, wobei die Abgleichung durch
den Abgleichwandler vorläufig noch ausser Betracht
bleibt. Das Ergebnis dieser Umwandlungen zeigt die
Tabelle IV.

Es sei nun weiter angenommen,
dass für den vorliegenden Fall auf
Grund einer Kurzschlußstromberechnung die Relais-
type LB 2 gewählt wurde. Aus der Charakteristik dieser
Type folgt, dass am Relais eine Reak-
tanz von einem Ohm einer Laufzeit
von einer Sekunde entspricht. Wird
am Abgleichwandler die Anzapfungs-
zahl 100 eingestellt, so wird die Se-
kundärreaktanz aus der Tabelle IV un-
verändert durch das Relais gemessen,
sodass die Auslösezeit am Relais in
Sekunden numerisch der Sekundär-
reaktanz in Ohm gleich ist. Durch
Wahl einer willkürlichen Anzapfungs-
zahl N an Stelle von 100% wird dem
Ohmmeter N% der Sekundärspan-
nung zugeführt, die Sekundärreaktanz
und somit die Auslösezeit am Relais
im Verhältnis N:100 geändert.

Am einfachsten wird zuerst für
jede Teilstrecke eine Auslösezeit von
einer Sekunde gewählt und die graphi-
sche Darstellung zur Bewertung der so

erhaltenen Zeitstaffelung benützt. Nachher folgt dann
die Korrektur der Auslösezeiten durch Wahl von
andern Anzapfungen, gegebenenfalls auch durch Ver-
größerung der Grundzeit für einzelne Teilstrecken.
Die graphische Darstellung der Auslösezeit leistet
bei der Korrektur gute Dienste, wie dies aus den
Abbildungen 11 für den Ring A B D E D C B A und
12 für den Ring A B C D E D B A hervorgeht. Die
dünn ausgezogenen Zeitgeraden gelten für die
Abgleichung auf einer Sekunde je Teilstrecke, die
dick ausgezogenen Zeitgeraden sind das Ergebnis

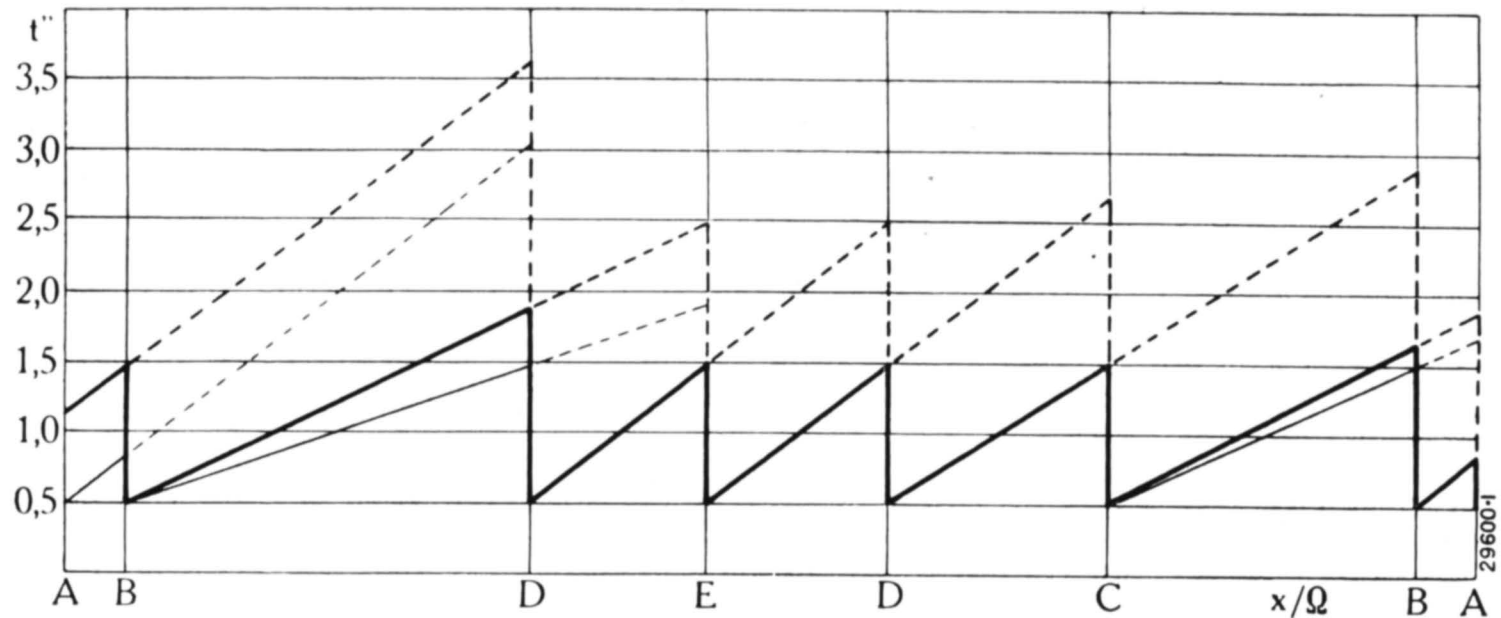


Abb. 11. — Staffelungsplan für das Netz nach Abb. 10. Ring A B D E D C B A.

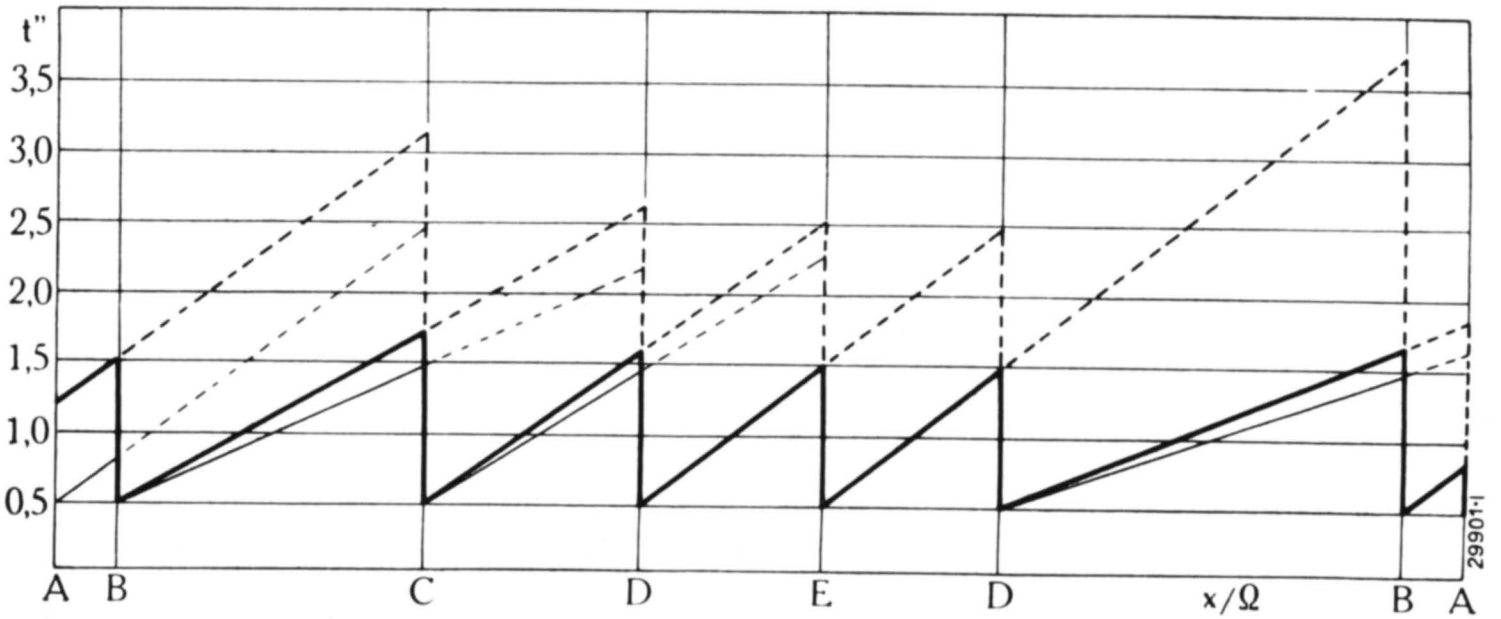


Abb. 12. — Staffelungsplan für das Netz nach Abb. 10. Ring A B C D E D B A.

der nachher vorgenommenen Korrektur. Der rechnerische Vorgang kann an Hand der Tabelle V verfolgt werden.

Die Tabelle enthält auch die Einstellung der Summenstromrelais. Letztere sollen ansprechen, wenn im Netz der Summenstrom den Wert des dem kleinsten Arbeitsstrom der Reaktanzrelais entsprechenden Stromes überschreitet. Am einfachsten wird bei der Einstellung der Summenstromrelais von den Stromwandlern mit der grössten Übersetzung ausgegangen. Für diese sind die angeschlossenen Summenstromrelais auf den kleinsten Arbeitsstrom der Distanzrelais einzustellen, wenn Relais Type LB 2 angeschlossen sind,

also auf 3,3 A. Für Stromwandler mit kleinerer Übersetzung sind die Summenstromrelais auf gleichen Summenstrom im Netz einzustellen. In der Tabelle entspricht der Einstellung 3,3 A auf der Primärseite der Wandler 300/5 A ein Summenstrom von 200 A. Demnach verlangt die Wandlerübersetzung 200/5 A die Einstellung des Ansprechstromes auf 5 A.

Das Beispiel zeigt in überzeugender Weise, wie mit sehr einfachen Mitteln und unter Beibehaltung klarer und übersichtlicher Verhältnisse auch in den ungünstigsten Fällen eine in jeder Beziehung einwandfreie Zeitstaffelung gefunden werden kann.

(MS 602)

A. van Gastel.

NEUERE AUSFÜHRUNGSFORMEN DES BROWN BOVERI-EINZELACHS-ANTRIEBES FÜR ELEKTRISCHE LOKOMOTIVEN.

Dezimalindex 621. 335. 221.

In den BBC Mitteilungen vom Mai 1922 wurde der Brown Boveri-Einzelachsantrieb der Schnellzuglokomotive Type 2 C₀ 1 der Schweizerischen Bundesbahnen beschrieben. Diese Lokomotivtype ist nicht nur technisch, sondern auch geschichtlich bemerkenswert, bildet sie doch den ersten Fall, wo der Brown Boveri-Antrieb nicht nur behelfsmässig für den Zweck

von Versuchen sondern in eine von Grund auf organisch für ihn entwickelte Lokomotive eingebaut wurde, die von Anfang an für die Herstellung in grösseren Stückzahlen bestimmt war. Der technische Erfolg dieser Bauart ist bekannt, die Lokomotivtype wurde von den

Schweizerischen Bundesbahnen als normal erklärt und der weitere Bau einer Type gleicher

Achsanordnung, aber mit Stangenantrieb, eingestellt. Es soll nicht versäumt werden, hier der wertvollen Mitarbeit der Organe der Schweizerischen Bundesbahnen und der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur zu gedenken; die letztgenannte Firma hat die mechanischen Teile dieser Lokomotiven, wie aller andern der Schweizerischen Bundesbahnen erbaut.

Später zeigte sich das Bedürfnis, unter Anwendung derselben bewährten Bauprinzipien eine Lokomotivtype mit vier statt mit drei Triebachsen bei gleicher Leistung pro Achse zu entwickeln. Auf Grund ihrer vorher geleisteten Arbeit wurde hiermit wiederum die A.-G. Brown, Boveri & Cie. betraut; diese Lokomotive, mit der Bezeichnung 2 D₀ 1 (Ae 4/7), von welcher

zur Zeit der Abfassung dieses Berichtes 36 Stück in Betrieb und 46 Stück in Bau sind, findet sich in den BBC Mitteilungen vom Februar und März des Jahres 1928 beschrieben.

Wie bei jeder Konstruktion von Einzelachsantrieben mit im Rahmen festgelagerten Motoren bildet auch beim Brown Boveri-Antrieb die allseitig bewegliche Kupplung zwischen

dem grossen Zahnrad und der Triebachse ein Element von ganz besonderer Bedeutung. Es sei in dieser Beziehung auf die erwähnte Literatur verwiesen. Daneben wurden aber dort seinerzeit noch einige andere Gesichtspunkte in den Vordergrund gestellt, die hier nochmals kurz wiedergegeben sein sollen:

1. Einseitige Anordnung des Zahnradgetriebes, zur grösstmöglichen Herabsetzung der Anzahl Zahn-

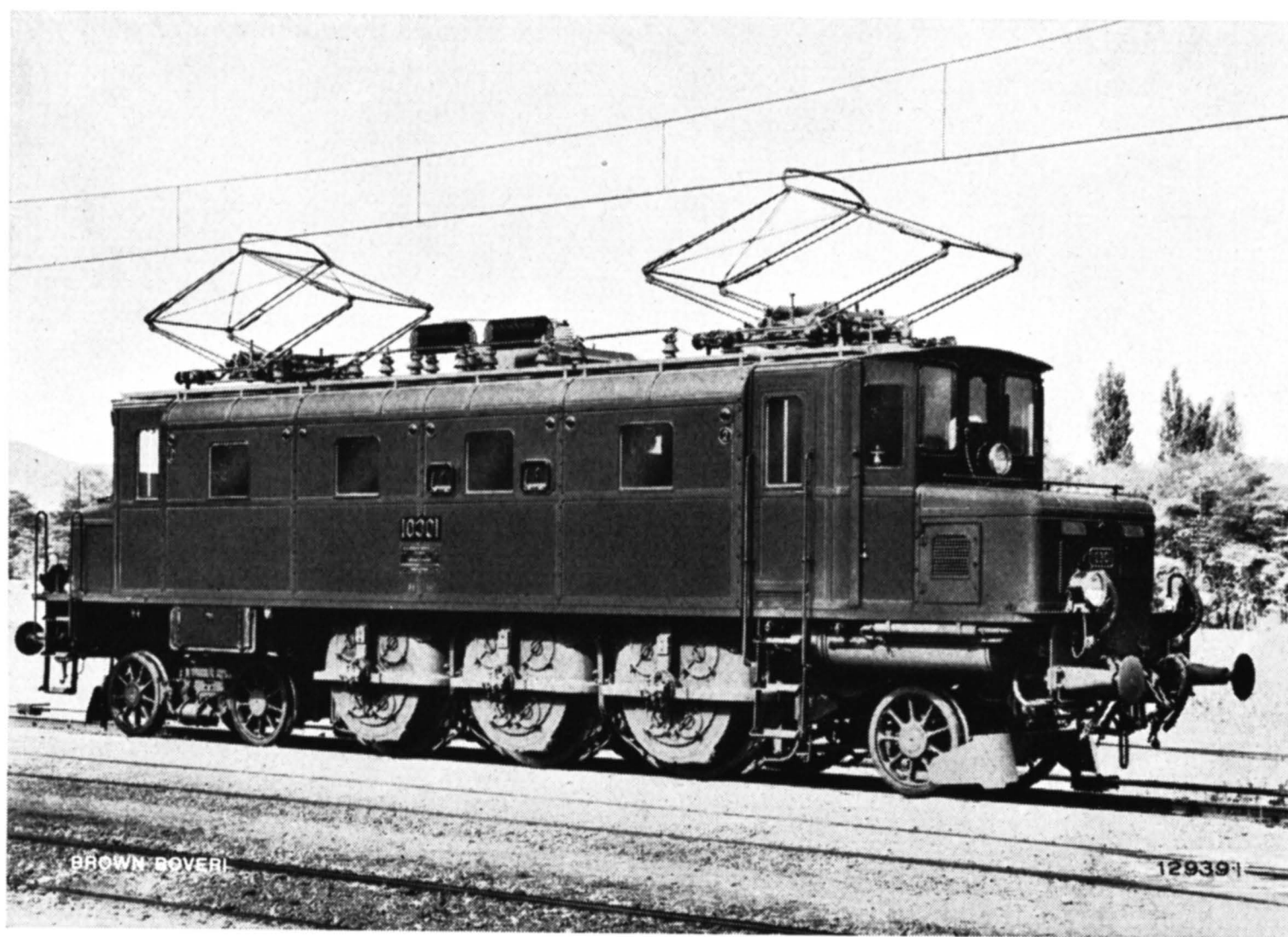


Abb. 1. — Lokomotive Nr. 10301, Type 2 C₀ 1 der Schweizerischen Bundesbahnen. Aussenansicht der Lokomotive, gesehen von der Einzelachsantriebsseite.

eingriffstellen und Übertragungsglieder in Verbindung mit einseitiger Anordnung der Apparatur, behufs Gewichtsausgleich und Schaffung eines einseitigen Bedienungsganges auf der Antrieb- und Kollektorseite, welcher die Beobachtung der letztgenannten Teile erleichtert.

2. Anordnung des Zahnradgetriebes ausserhalb des Rahmens, um innerhalb die volle Breite für die Traktionsmotoren zur Verfügung zu haben.

3. Anordnung des Einzelachsantriebes mit Exzentrizität, d. h. Höherlegung des Zentrums des grossen Zahnrades um einen Betrag bis ungefähr 30 mm über das Zentrum des Triebrades zur Erlangung grösserer Freiheit in der Wahl des Übersetzungsverhältnisses und günstigerer Bemessung der Kupplungsteile.

In Abb. 1 sei nochmals eine Aussenansicht der 2 C₀ 1-Lokomotive der Schweizerischen Bundesbahnen, in Abb. 2 ihr Bild mit abgenommener Seitenwand, von der Antriebseite aufgenommen, gezeigt. Diese Bilder illustrieren die erwähnten Grundsätze gut.

Wiewohl sich diese Grundsätze, wie ja aus dem eingangs Gesagten ohne weiteres hervorgeht, in der Praxis ausgezeichnet bewährt haben, ist es doch von Interesse, festzustellen, dass noch viele andere Lösungen bestehen, wo die allseitig bewegliche Kupplung von Brown Boveri mit ebenso grossem Vorteil verwendet werden kann. Was zunächst das Zahngetriebe anbelangt, so wird man gegebenenfalls bei sehr grossen Leistungen pro Triebachse, mit Rücksicht auf die spezifische Belastung der Zahngetriebe und Antriebs Teile, oder auch aus Rücksichten auf das Profil, den einseitigen Antrieb verlassen und zur beidseitigen Anordnung übergehen, ohne dass sonst in der konstruktiven Durchbildung wesentliche Änderungen vorgenommen werden müssten. Dieser Weg wurde von Brown Boveri zum Beispiel bei den beiden Schnellzuglokomotiven E 501 und E 502 der Paris-Orléans-Bahn beschritten, welche in den BBC Mitteilungen vom August und September des Jahrganges 1927 beschrieben wurden. Auch diese Lokomotiven, deren Ansicht Abb. 3 zeigt, sind ge-

schichtlich bemerkenswert, nicht nur wegen ihres Antriebes, sondern auch wegen ihrer, zur Zeit ihrer Indienststellung in Europa unerreichten Leistung von 3600 PS einstündig, also 900 PS pro Triebachse bei 65 km/h, d. h. bei 50% der höchstzulässigen Geschwindigkeit.

Eine weitere, unter Umständen sehr wichtige Konstruktionsvariante, die sich ebenfalls sehr gut mit den oben geschilderten Baugrundsätzen lösen lässt, betrifft die Verwendung von Doppelmotoren, d. h. von zwei Triebmotoren pro Triebachse. Wenngleich diese Anordnung bei Verwendung des Brown Boveri-Antriebes vom Standpunkt des Antriebes selbst im

allgemeinen nicht notwendig ist, so kann sie doch, besonders bei grossen Leistungen, dem Motorkonstrukteur eine wesentliche Hilfe bieten, einmal bei der Tiefhaltung des Gewichtes, indem gewisse Teile, wie z. B. die Lagerschilde bei Doppelmotoren unter Umständen leichter ausfallen, sodann aber besonders dadurch, dass man die zwei Doppelmotoren in Reihe schaltet, was wegen ihrer mechanischen Kupplung über die

Zahnräder ohne Vergrösserung der Schleudergefahr ohne weiteres gestattet ist. Die wesentliche Ermässigung der auf einen Motor entfallenden Spannung ist eine grosse Erleichterung für die Bemessung der Motoren. Dies macht sich auch dann noch genügend geltend, wenn die Gesamtspannung an zwei solchen Motoren gegenüber derjenigen eines doppelt so starken Einzelmotors etwas erhöht wird; letzteres im Hinblick darauf, dass dann die zu schaltenden Ströme kleiner, also die Steuerapparate leichter werden.

Als Beispiel für die Anwendung von Doppelmotoren in Verbindung mit dem Brown Boveri-Einzelachsantrieb in der bisher beschriebenen Form sei die von Brown Boveri an die Companhia Paulista de Estradas de Ferro in São Paulo, Brasilien, gelieferte 1 D₀ 1-Lokomotive erwähnt, deren Hauptdaten in den BBC Mitteilungen vom September des Jahrganges 1928 kurz zusammengefasst wurden. Abb. 4 zeigt die Lokomotive, von der Antriebseite aus gesehen, Abb. 5 einen Teil des Untergestelles mit eingebauten Triebmotoren.

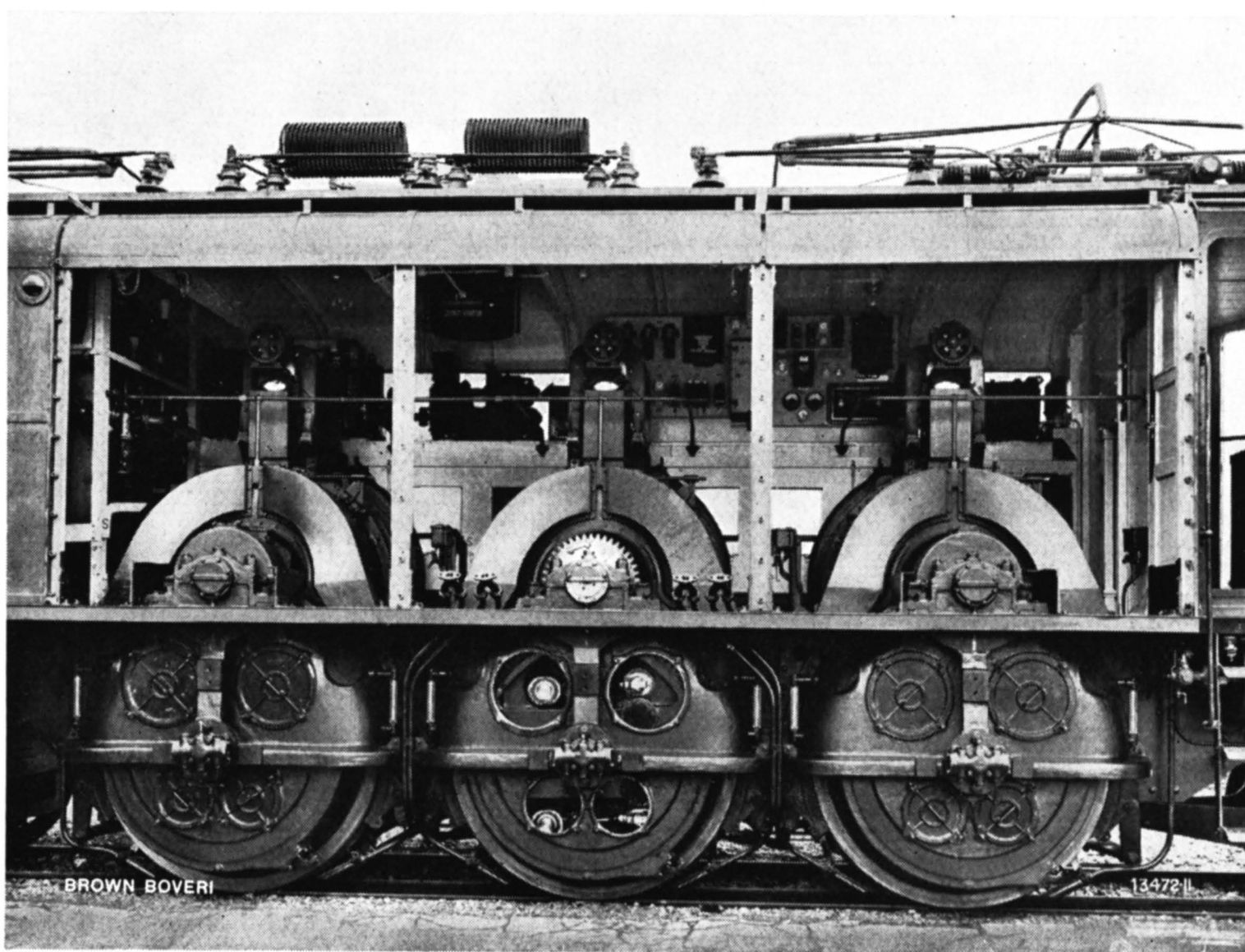


Abb. 2. — Lokomotive Nr. 10305, Type 2 C₀ 1 der Schweizerischen Bundesbahnen mit abgehobenen Seitenwänden und geöffneten Bedienungsklappen des mittleren Einzelachsantriebes. Ansicht von der Antriebseite.

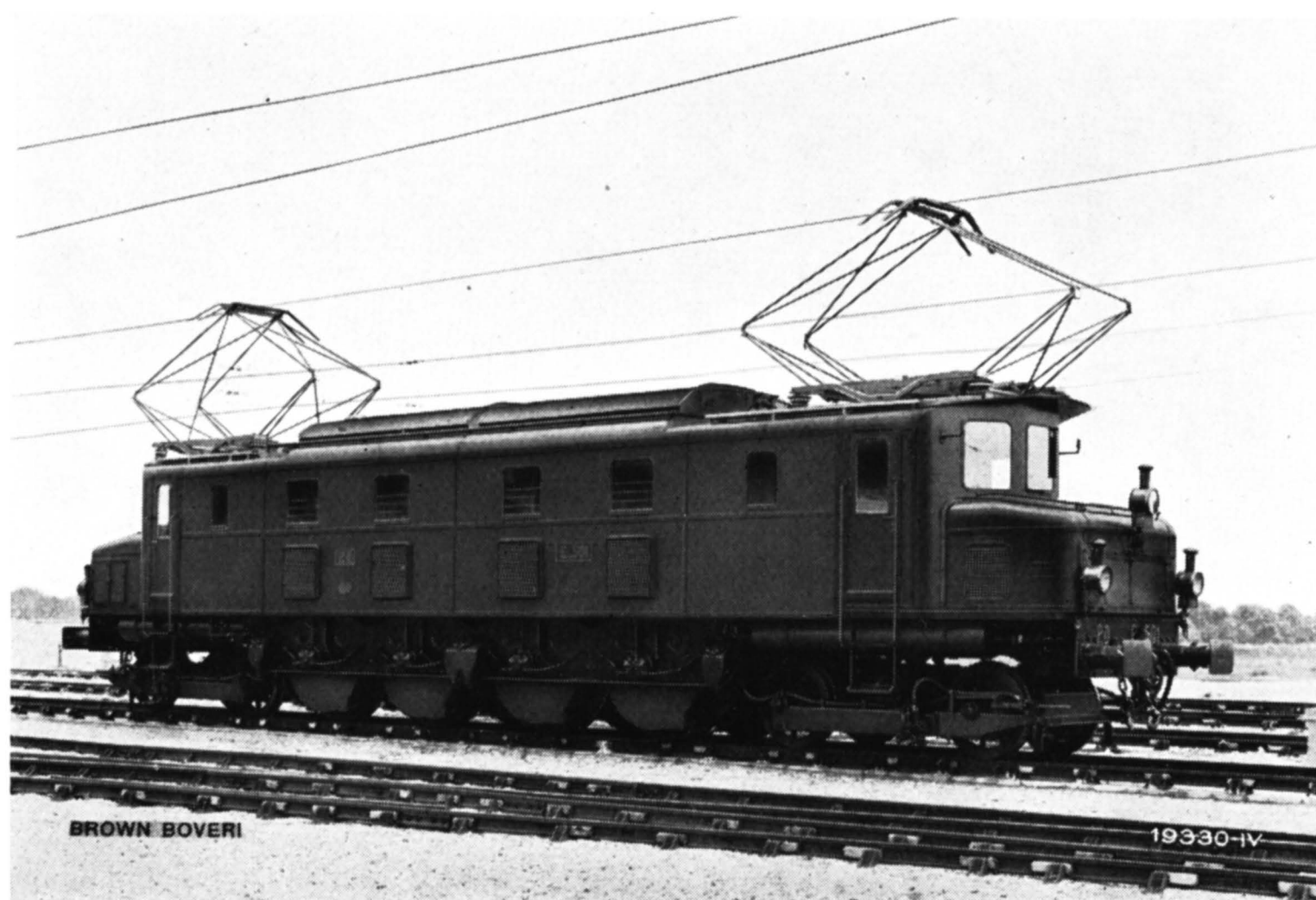


Abb. 3. — Schnellzuglokomotive Nr. E 501, Type 2 D₀ 2 der Paris-Orléans-Bahn. Fahrgeschwindigkeit 130 km/h. Stundenleistung am Radumfang 4000 PS bei 72–92 km/h und 1500 V Gleichstrom.

Das letztgenannte Bild lässt die Anordnung der Motoren und Antriebe gut erkennen.

Bei den im vorstehenden erwähnten Lokomotiven sind die Antriebe ausserhalb der Triebräder angebracht, der Lokomotivrahmen befindet sich deswegen innerhalb; es handelt sich also um Innenrahmenbauarten. Diese weisen bekanntlich gewisse Vorteile gegenüber der Aussenrahmenbauart, insbesondere hinsichtlich Gewicht und mechanischer Festigkeit des Rahmens auf. Bei manchen Einzelachsantriebsystemen ist man jedoch an die Aussenrahmenbauart gebunden; insbesondere gilt dies für den Quill-drive in seinen verschiedenen Bauarten. Der Brown Boveri-Einzelachsantrieb ist von dieser Beschränkung frei und sowohl für Innenrahmen als auch für Aussenrahmen anwendbar.

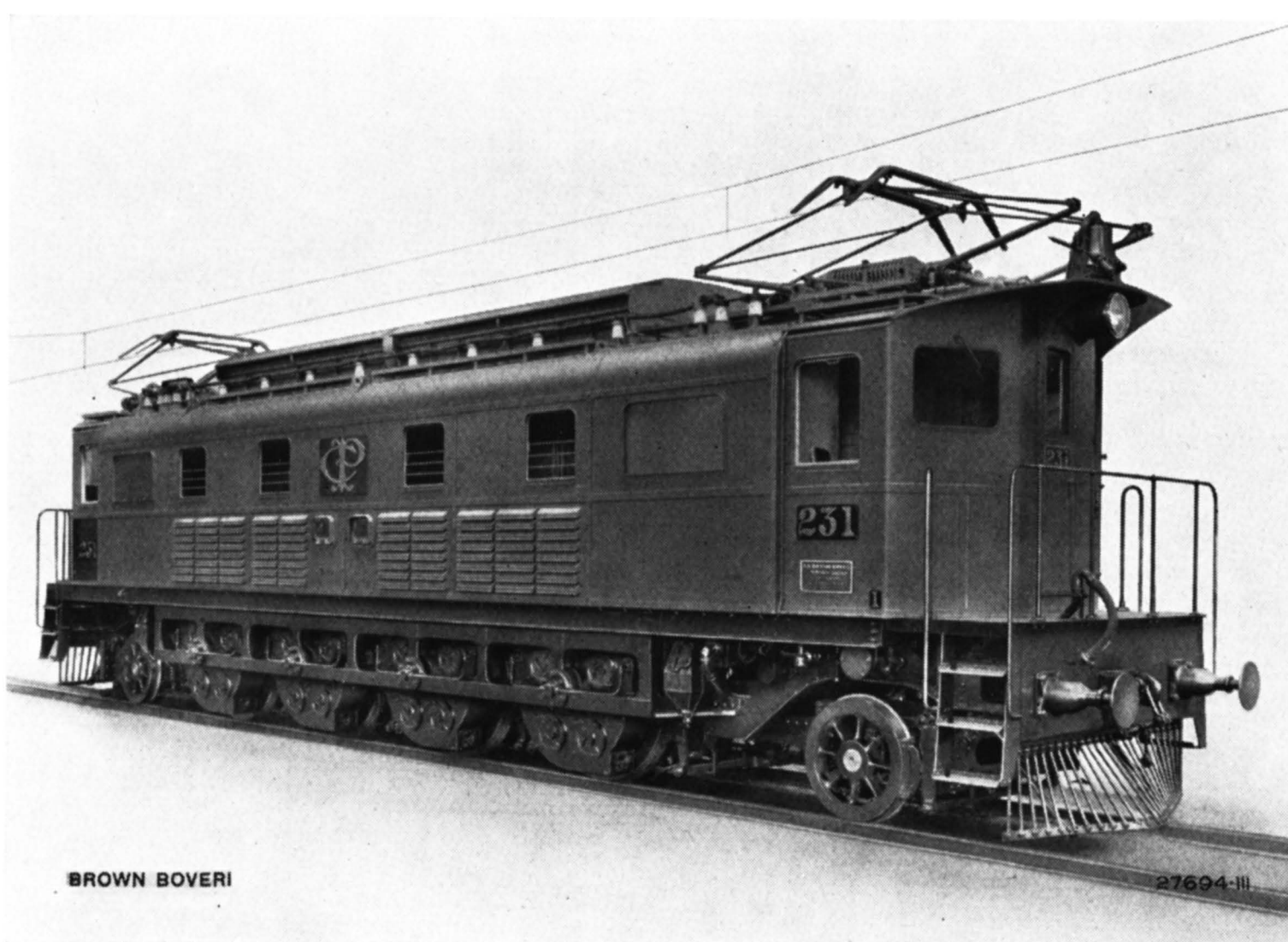


Abb. 4. — Schnellzuglokomotive Type 1 D₀ 1 der Paulista-Bahn (Brasilien). Spurweite 1600 mm, mittlere Gleichstrombetriebsspannung 2700 V. Ansicht der Lokomotive von der Einzelachsantriebsseite.

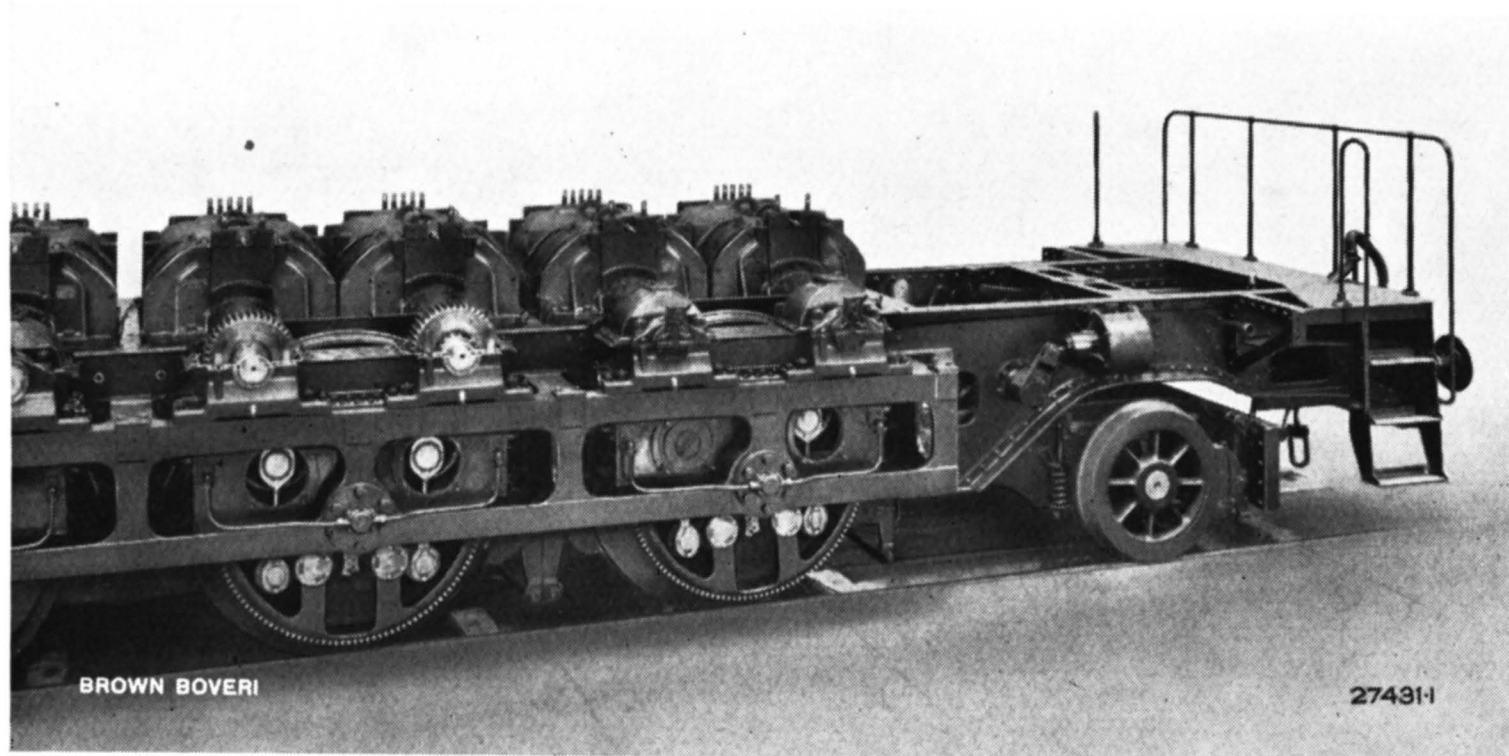


Abb. 5. — Schnellzuglokomotive Type 1 D₀ 1 der Paulista-Bahn (Brasilien). Ansicht eines Teiles des Untergestelles mit eingebauten Triebmotoren.

Als Beispiel für Lokomotiven mit Aussenrahmen seien die 12 von Brown Boveri an die Spanische Nordbahn gelieferten Lokomotiven der Type 2 C₀-C₀ 2 erwähnt. Abb. 6 zeigt eine Aussenansicht der Maschine, Abb. 7 den Zusammenbau einer Triebachse mit dem zugehörigen Motor. Man erkennt u. a. das beidseitig angeordnete Zahnradgetriebe, Teile der im grossen Zahnrad untergebrachten Kupplung und die die Triebachse umschliessende Hohlwelle, welche in diesem Falle nicht rotiert, sondern am Triebmotor festgeklemmt ist. Die Höchstgeschwindigkeit der Lokomotive beträgt 110 km/h; jeder Motor entwickelt eine Stundenleistung von 540 PS bei 60 km/h, bei Speisung der Lokomotive mit Gleichstrom von 1500 V.

Ein weiteres bemerkenswertes Beispiel einer elektrischen Aussenrahmenlokomotive bildet die in den BBC Mitteilungen vom Oktober des Jahrganges 1929 bereits erwähnte, zurzeit in den Werkstätten des Tecnomasio Italiano Brown Boveri im Bau befindliche 1 D₀ 1-Lokomotive für die Ferrovie Secondarie Meridionali in Neapel; es ist dies die erste italienische Lokomotive, die mit dem Brown Boveri-Einzelachsantrieb ausgerüstet wird. Ein besonderes Problem ergab sich beim Entwurf dieser Lokomotive durch die wegen der äusserst engen Kurven von 120 m Halbmesser auf

offener Strecke und 70 m in den Weichen sehr hohen Anforderungen hinsichtlich Kurveneinstellung und Lauffähigkeit der Lokomotive. Die Verwendung des bekannten kombinierten Drehgestelles Bauart Brown Boveri, erstmals angewendet bei den von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. an die Niederländisch-Indischen Staatsbahnen gelieferten 1 D₀ 1-Lokomotiven (siehe BBC Mitteilungen August und September des Jahrganges 1926) und daher gelegentlich auch Java-Drehgestell genannt, kam hier wegen des Aussenrahmens nicht in Frage, da die Triebachse der Hohlwelle wegen von Innen nicht gefasst werden kann und infolgedessen die Möglichkeit zur konstruktiven Verwirklichung eines materiellen Drehpunktes fehlt. Die verlangte Kurvenbeweglichkeit wurde nun dadurch erreicht, dass die mittleren Triebachsen Seitenspiel erhielten, während die Achslager der beiden äussern Triebachsätze mit der benachbarten Laufachse durch eine besondere Lenkvorrichtung verbunden sind und in Abhängigkeit von der Stellung der Laufachse ebenfalls radial eingestellt werden. In Bezug auf die Konstruktion des Einzelachsantriebes

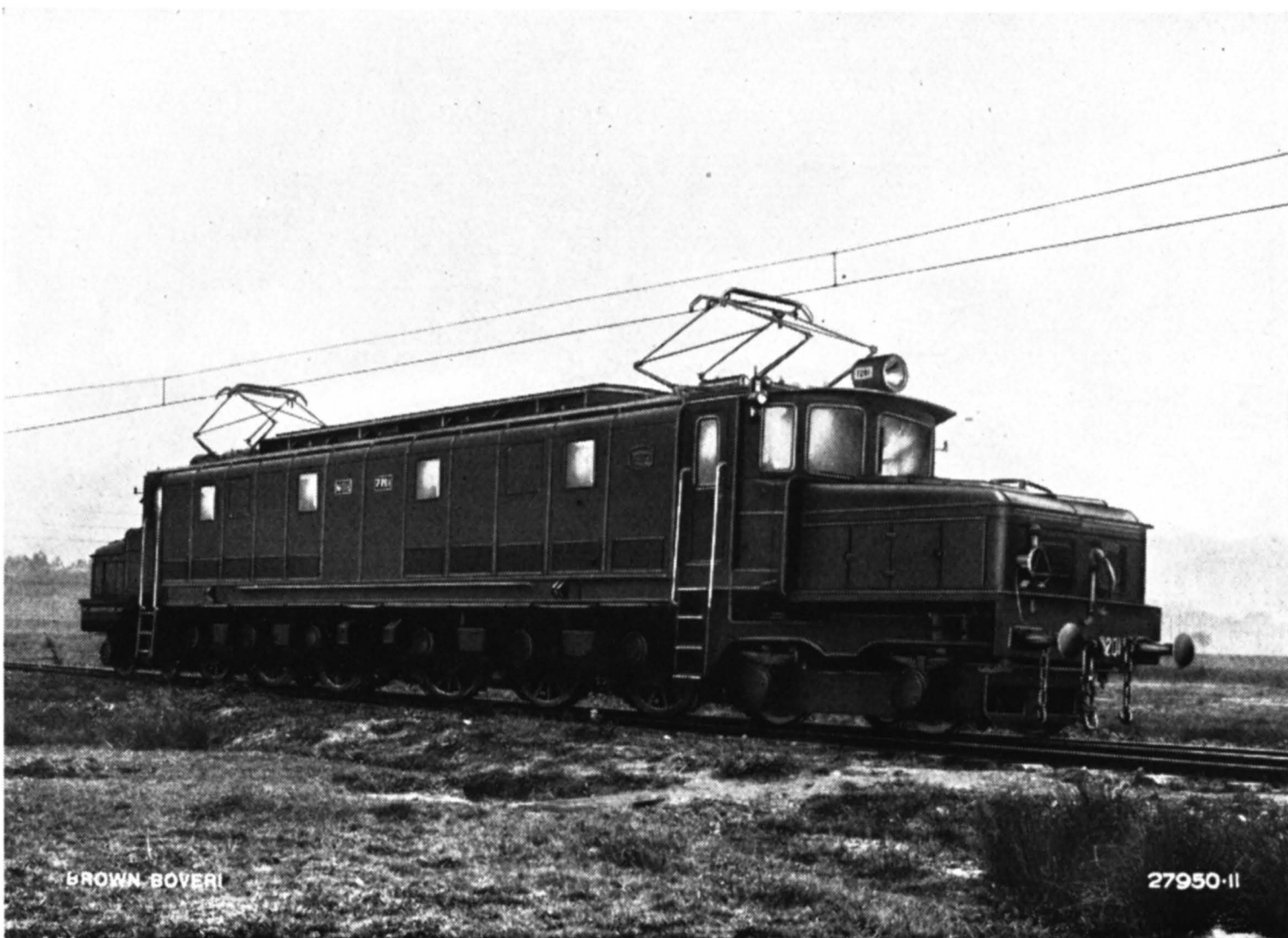


Abb. 6. — Schnellzuglokomotive Type 2 C₀-C₀ 2 der Spanischen Nordbahn. Aussenansicht der Lokomotive.

ist zu bemerken, dass es sich hier um einen Innenantrieb mit rotierender Hohlwelle handelt; als weitere Eigentümlichkeit ist zu erwähnen, dass die Übertragung des Drehmomentes nicht, wie bisher beim Brown Boveri-Antrieb üblich, über zwei kugelige Triebzapfen auf den Radstern erfolgt, sondern unmittelbar auf die Triebachse über einen an ihr angeschmiedeten und mit kugeligen Büchsen versehenen zweiarmigen Mitnehmer. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass die Zahnradverschalung nur eine einzige zentrale Öffnung erhält, die verhältnismässig leicht gegen das Eindringen von Staub abgedichtet werden kann.

Es mag hier der Vollständigkeit halber eingeschaltet werden, dass das Wesen des weiter oben erwähnten Brown Boveri-Drehgestells darin besteht, dass eine Laufachse mit der benachbarten, von einem fest im Rahmen gelagerten Motor angetriebenen Triebachse zu einem Drehgestell verbunden wird, was unter anderem zur Voraussetzung hat, dass die verwendete Antriebskupplung die entstehenden Relativbewegungen zwischen Radsatz und Zahnradgetriebe zulässt, eine Bedingung, die von der Brown Boveri-Kupplung in idealer Weise erfüllt wird. Dieses Drehgestell wurde, abgesehen von den schon erwähnten Lokomotiven der Niederländisch-Indischen Staatsbahnen, in grossem Maßstab bei den 2 D₀ 1-Lokomotiven der Schweizerischen Bundesbahnen angewendet, dort mit einer von M. Weiss, Oberingenieur der genannten Bahnverwaltung angegebenen Erweiterung, gemäss welcher die Laufachse selbst statt fest im Drehgestell, als Adamsachse gelagert wird.

Allgemein muss hier hervorgehoben werden, dass die Brown Boveri-Kupplung freie Bewegung in jeder Richtung erlaubt, unter anderem also auch grössere seitliche Verschiebung des Radsatzes und

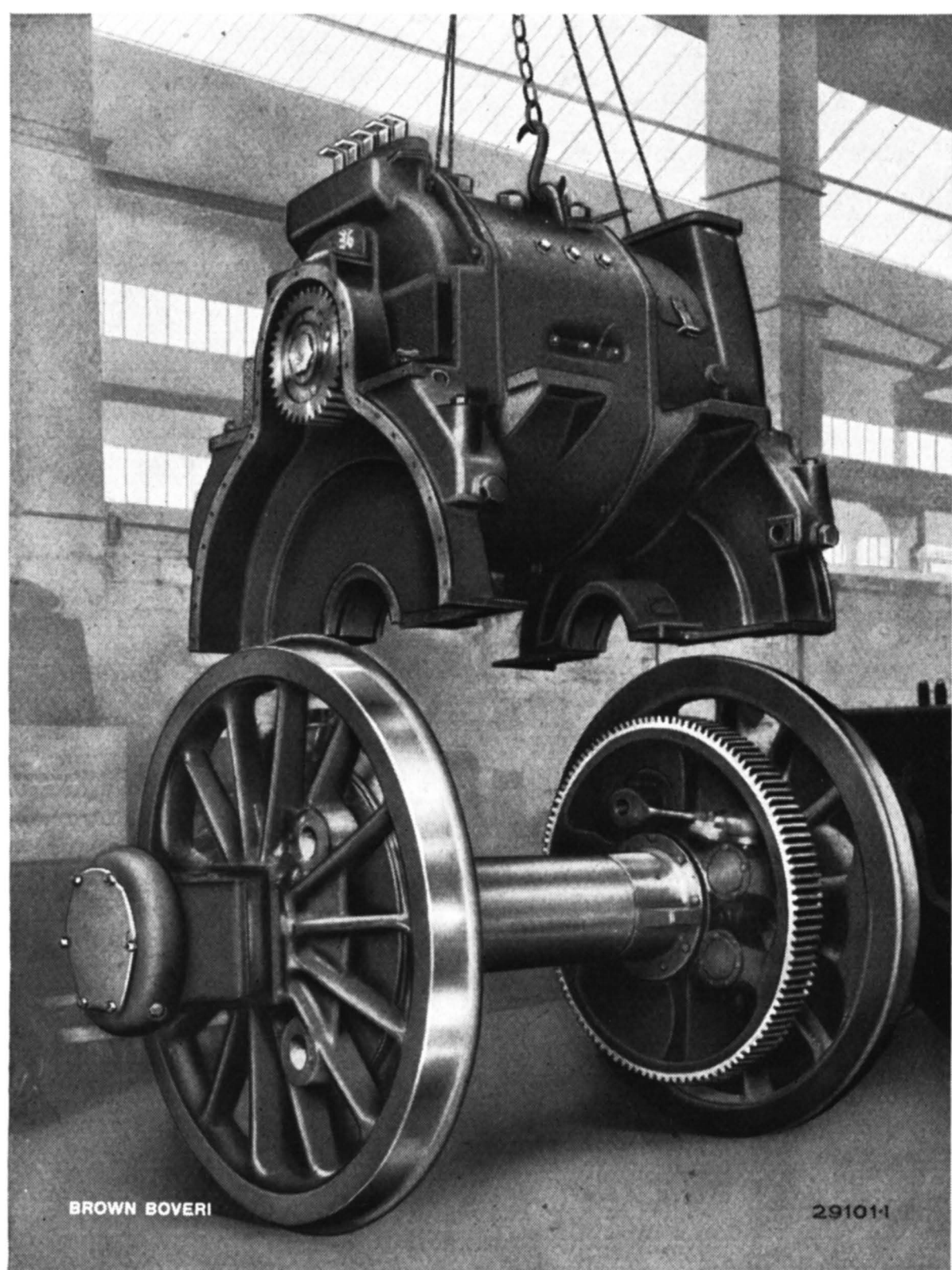


Abb. 7. — Schnellzuglokomotive Type 2 C₀-C₀ 2 der Spanischen Nordbahn. Motor mit Zahnradkastenoberteil wird auf die Hohlwelle und den Radsatz aufgesetzt und dann verschraubt.

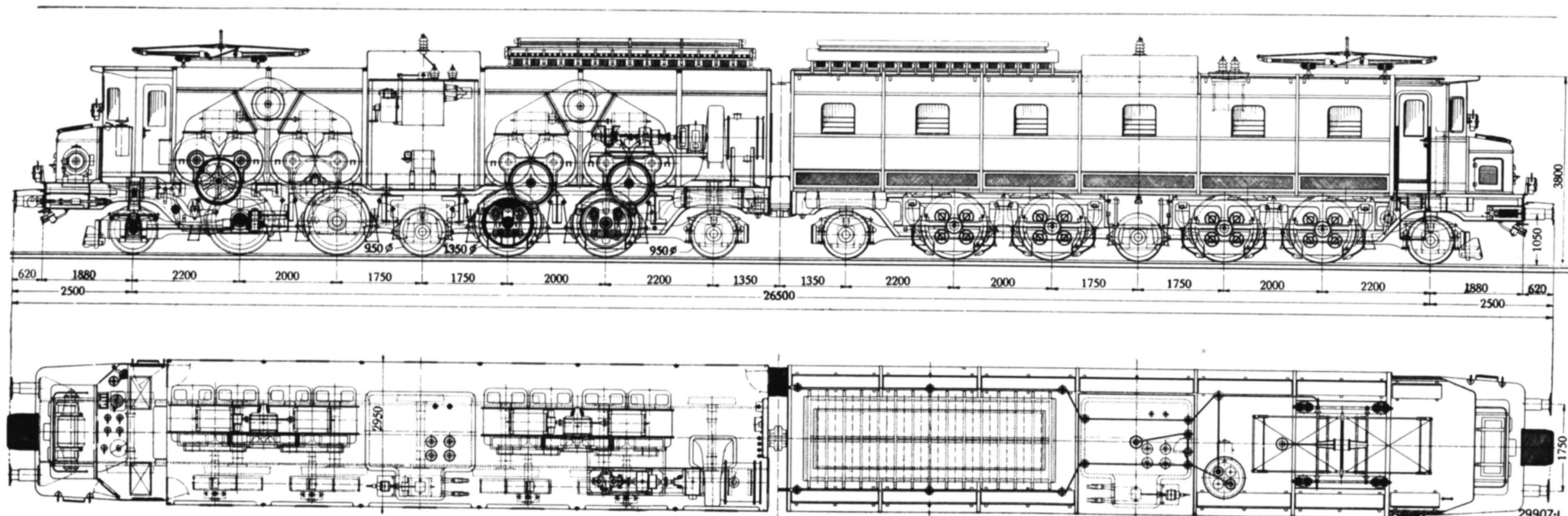


Abb. 8. — Schnellzuglokomotive Type $1B_0 1B_0 1 + 1B_0 1B_0 1$ für Einphasen-Wechselstrom der Schweizerischen Bundesbahnen (Gotthardstrecke).

seine vollständige radiale Einstellung, was z. B. beim Quill-drive nicht der Fall ist. Man kann daher den Triebachsen ohne weiteres die im Interesse der Kurvenläufigkeit nötige Seitenverschieblichkeit geben und anderseits Laufachsen mit benachbarten Triebachsen zu Drehgestellen vereinigen, nicht nur nach Brown Boveri, wie oben schon erwähnt, sondern z. B. auch nach Krauss-Helmholtz, wobei bekanntlich die Triebachse rein seitlich verschoben wird.

Während im vorstehenden nur solche Lokomotiven betrachtet wurden, die sich bereits im Bau befinden, wie die Meridionale-Lokomotive, oder, sogar teilweise schon jahrelang in Betrieb stehen, wie alle übrigen erwähnten, soll zum Schlusse noch kurz auf ein Projekt eingegangen werden. Seine Ausarbeitung erfolgte unter Mitwirkung der technischen Organe der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur. Es handelt sich um eine schwere Schnell- und Güterzuglokomotive für die Gotthardstrecke der Schweizerischen Bundesbahnen für 100 km/h Höchstgeschwindigkeit mit der Achsanordnung $1B_0 1B_0 1 + 1B_0 1B_0 1$, bestehend aus zwei kurzgekuppelten Hälften. Die gesamte Motorstundenleistung an den Wellen beträgt 7200 PS bei 50 km/h, die Dauerleistung 6760 PS bei 53 km/h, das Dienstgewicht der Lokomotive 224 Tonnen. Abb. 8 zeigt eine Verkleinerung der Entwurfszeichnung. Hinsichtlich Achsanordnung ist zu bemerken, dass die äusseren und die zwei mittleren Laufachsen mit den ihnen benachbarten Triebachsen zu kombinierten Brown Boveri-Drehgestellen verbunden sind.

Bei der Anordnung der Motoren und Apparate wurde besonders auf grösste Zugänglichkeit gesehen. Die Kollektoren der sechzehn Triebmotoren können von dem auf der Nichtantriebsseite liegenden Bedienungsgange inspiziert werden. Im Gegensatz zu den $2C_0 1$ - und $2D_0 1$ -Lokomotiven der Schweizerischen Bundesbahnen ist noch ein zweiter Bedienungsgang angeordnet, von dem aus die antriebsseitigen Motoren- und Aussenlager sowie die Zahnräder revidiert werden können.

Im übrigen lehnt sich die Konstruktion, insbesondere was die Anordnung und Lagerung des grossen Zahnrades anbelangt, enge an die bei den $2C_0 1$ - und $2D_0 1$ -Lokomotiven bewährte Bauweise an.

An Stelle des soeben skizzierten Entwurfes wurde seitens der Schweizerischen Bundesbahnen einer zweiten von uns ausgearbeiteten Variante der Vorzug gegeben, welche bereits in den BBC Mitteilungen vom Januar des laufenden Jahrganges kurz beschrieben wurde. Die Achsanordnung und die elektrische Steuerapparatur sind bei beiden Varianten grundsätzlich die gleichen; die Hauptabweichung der zweiten Variante gegenüber der ersten besteht in der Verwendung nur eines Motors pro Triebachse. Der betreffende Motor kann ohne weiteres in die bestehenden $2C_0 1$ - und $2D_0 1$ -Lokomotiven eingebaut werden. Im Zusammenhange damit ist auch der Antrieb grundsätzlich derselbe wie dort. Beides ist für den Betrieb von grossem Vorteil. Dass die gesamte Motorleistung etwas kleiner ist, konnte in Kauf genommen werden, da die Adhäsionsverhältnisse die Ausnützung einer höheren Motorleistung ohnehin nicht gestatten. Auch die Tatsache, dass das Projekt mit Doppelmotoren ohne exzentrische Lagerung des grossen Zahnrades hätte verwirklicht werden können, fiel nicht stark ins Gewicht, da der bisherige Antrieb mit Exzentrizität sich ausgezeichnet bewährt hat. Ein weiteres Argument zugunsten von Doppelmotoren mit doppelter Übersetzung könnte das sein, dass man ohne Änderung am mechanischen Teil das Übersetzungsverhältnis verändern und somit Lokomotiven für verschiedene Geschwindigkeitsbereiche fast ähnlicher Bauart herstellen könne. Die neuere Praxis, besonders bei den Schweizerischen Bundesbahnen, tendiert aber zweifellos nach der Einheitslokomotive für alle Zuggattungen, welche naturgemäss eine verhältnismässig grosse Höchstgeschwindigkeit aufweisen muss. Es kommt daher der Freiheit in der Wahl des Übersetzungsverhältnisses heute nicht mehr viel Bedeutung zu. (MS 606)

Th. Boveri.

KLEINE MITTEILUNGEN.

Gegenseitige Beeinflussung von Sonden in elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen.

Dezimalindex 537.525.

Befinden sich in einer elektrischen Entladung in einem verdünnten Gas (Bogenentladung oder Glimmentladung) isolierte Körper, so laden sie sich gegenüber ihrer Umgebung negativ auf, weil die in der Entladungstrecke zahlreich vorhandenen freien Elektronen wegen ihrer kleineren Masse sich viel rascher bewegen als die positiven Gasionen und daher in grösserer Zahl auf einen sich im Entladungsraum befindenden Körper stossen und von diesem aufgefangen werden, als die schwereren Ionen. Die Aufladung geht so lange vor sich, bis das Feld des Körpers die Elektronen in einer solchen Masse von diesem fernhält, dass in einer bestimmten Zeit gleichviel Elektronen vom Körper aufgefangen werden wie Ionen. Eine derartige Aufladung erleidet natürlich auch eine Hilfselektrode am Entladungsgefäss, z. B. eine Sonde, die weder mit der Kathode noch mit der Anode leitend verbunden und sich selbst überlassen ist. Auch sie wird sich gegenüber dem Raumpotential ihrer Umgebung und daher auch gegenüber der Anode negativ aufladen. Bringt man sie jedoch auf ein anderes Potential, so wird an ihr ein Strom aus- oder eintreten, je nachdem ihr Potential höher oder tiefer gemacht wird als dasjenige, auf welches sie sich im isolierten Zustande aufladen würde. Im ersten Falle wird sie aus der Entladung mehr Elektronen und im zweiten mehr positive Ionen aufnehmen. Das Potential, auf welches sie sich im isolierten Zustande aufladet, kann daher experimentell dadurch bestimmt werden, dass man ihre Spannung z. B. gegenüber der Anode so einstellt, dass sie weder einen negativen noch einen positiven Strom aufnimmt. Die Spannung, bei der das eintritt, ist die gesuchte Spannung gegenüber der Anode. Die Vorgänge an solchen Sonden sind vor allem von Langmuir und Mott-Smith und in der letzten Zeit von Seeliger untersucht worden.

An derartigen Sonden in einer Gasentladung treten ebenso wie an der Kathode und der Anode charakteristische Lichterscheinungen auf. So ist z. B. eine gegenüber ihrer Umgebung negativ geladene Sonde von einer dunklen Schicht umgeben, die in gewisser Beziehung der dunklen Schicht an der Kathode, dem Kathodendunkelraum, analog ist. In ihr sind wie im Kathodendunkelraum positive Ionen angehäuft, die eine positive Raumladung bilden. Diese positive Raumladung ist so stark, dass sie das Feld der

Sonde abschirmt, sodass die Entladung ausserhalb dieser Schicht von der Sonde gar nicht beeinflusst wird. Eine zweite Sonde in der Nähe der ersten, aber ausserhalb ihrer positiven Ionenschicht, wird daher in der Spannung, auf die sie sich im isolierten Zustande aufladet, durch eine negative Spannung der ersten Sonde gar nicht beeinflusst. Nicht so klar liegen die Verhältnisse, wenn der kleinste Abstand zwischen den beiden Sonden kleiner ist als die Dicke der positiven Ionenschicht an der ersten Sonde, sodass diese abschirmende Schicht sich an ihr nicht ungestört ausbilden kann. Es wurde daher im Physikalischen Laboratorium der

A.-G. Brown, Boveri & Cie. experimentell untersucht, ob und wie stark das Potential einer derartigen zweiten Sonde in einem solchen Fall durch das Potential der ersten beeinflusst wird. Diese Frage ist mit Rücksicht auf die Vorgänge in Quecksilberdampfgleichrichtern von Interesse.

Die Versuche wurden mit einer Gleichstromglimmentladung in Luft in einem Rezipienten nach Abb. 1 durchgeführt. Hierin ist I die Kathode, II die Anode und III und IV die beiden Sonden. Die Sonde III wurde gegenüber der Anode auf eine bestimmte negative Spannung gebracht, sodass sie aus der Entladung einen positiven Strom aufnahm, und an der Sonde IV wurde die Spannung bestimmt, auf die sie sich im isolierten Zustande gegenüber der Anode auflud. Letzteres geschah, wie oben erwähnt, indem man die Spannung bestimmte, bei der ihr Strom

gleich Null war. Der kleinste Abstand zwischen den beiden Sonden konnte verändert und grösser oder kleiner als die Dicke des Dunkelraumes, d. h. der Ionenschicht, an der Sonde III gemacht werden. Der nicht isolierte Teil der Sonde III bestand aus einer Stange von fünf Millimeter Durchmesser mit einer Scheibe von 20 mm Durchmesser und drei Millimeter Dicke am Ende. Die Sonde IV hatte zwei verschiedene Formen: bei den ersten Versuchen bestand sie, soweit sie nicht isoliert war, aus einem Draht von einem Millimeter Durchmesser mit dem Ende senkrecht zur Scheibe der Sonde III, und bei den folgenden aus einem Draht mit einer Scheibe von 20 Millimeter Durchmesser und einem Millimeter Dicke am Ende parallel zur Scheibe der Sonde III, wie in der Abbildung 1 punktiert eingezeichnet ist.

Die wesentlichen Daten bei den Versuchen waren im Mittel folgende:

Gasdruck	0,15 mm Hg
Spannung der Kathode gegenüber der Anode	—1100 V
Spannung der Sonde III gegenüber der Anode	—40 bis —1100 V
Kathodenstrom	0,1 A
Dicke des Dunkelraums an der Sonde III	5 mm

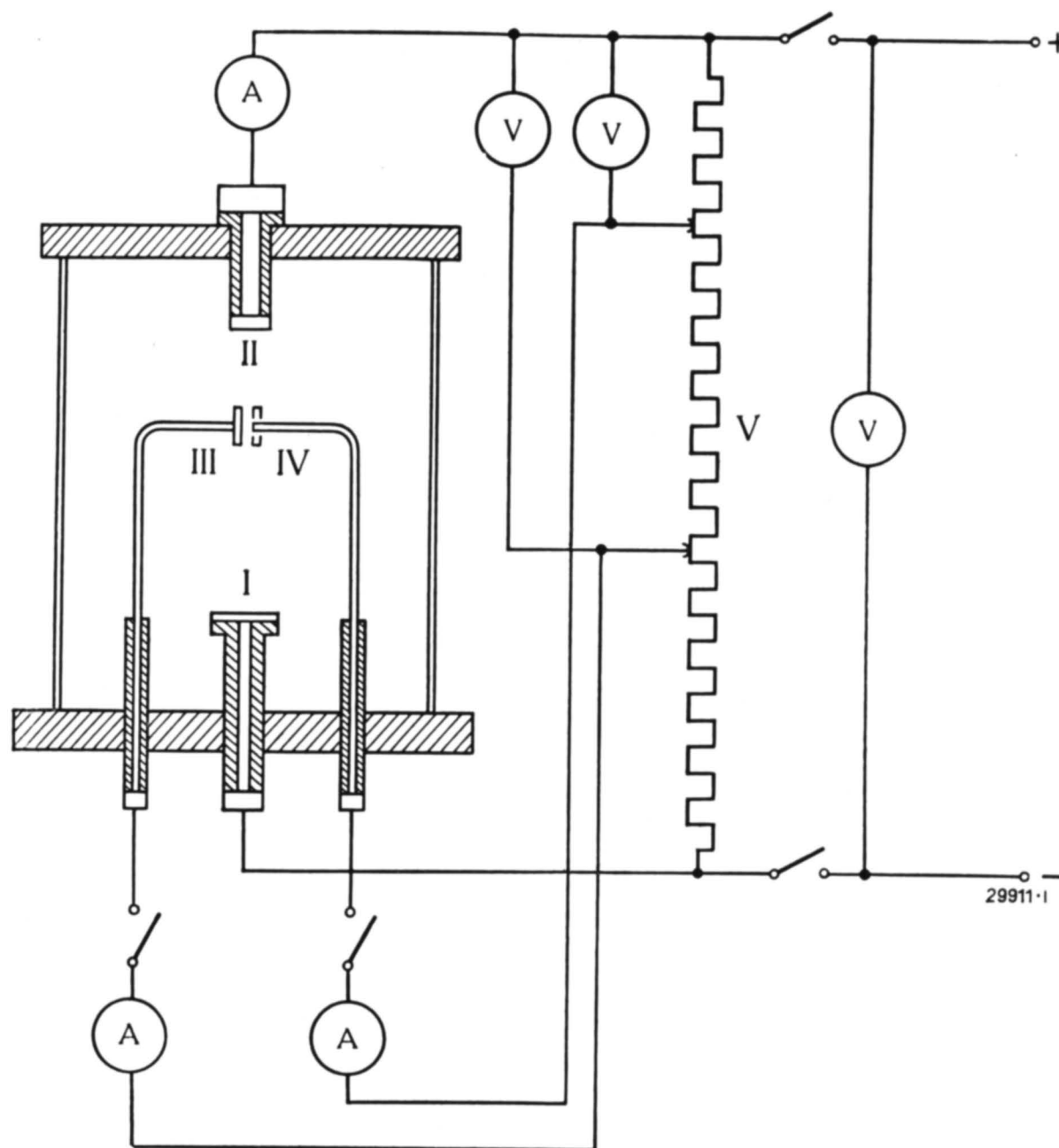


Abb. 1. — Rezipient für die Untersuchung der gegenseitigen Beeinflussung von Sonden in elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen und Schaltungsschema dazu.

I = Kathode.
II = Anode.
III, IV = Sonden.
V = Spannungsteiler.

Der Abstand zwischen den Sonden III und IV wurde zwischen 10 und 0,5 mm verändert. Der letzte Abstand entsprach unter den gegebenen Verhältnissen ungefähr der mittleren freien Weglänge eines Gasmoleküls im Rezipienten, d. h. dem Wege, den ein Gasmolekül im Mittel zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zusammenstößen mit anderen Gasmolekülen zurücklegt.

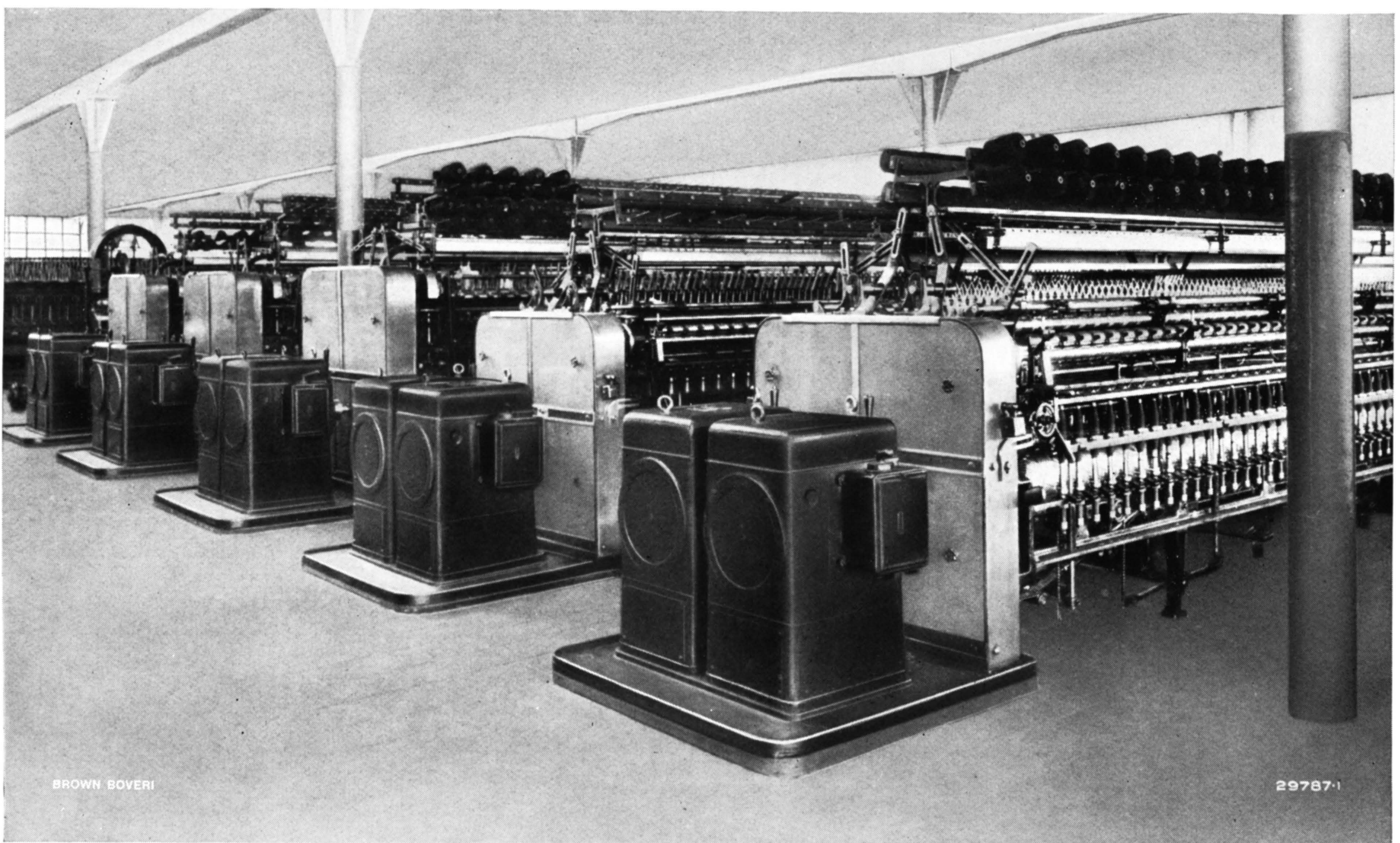
War der Abstand zwischen den beiden Sonden kleiner als die Dicke des Dunkelraumes an der Sonde III, so tauchte bei den Versuchen mit der Sonde IV ohne Scheibe ihr Ende in den Dunkelraum an der Sonde III ein, ohne die Lichterscheinungen an dieser merklich zu beeinflussen. Spuren von Zerstäubungsprodukten zeigten jedoch, dass gegenüber dem Ende der Sonde IV die Entladung an der Sonde III geschwächt war. Dort entstand eine kreisförmige Ablagerung von Zerstäubungsprodukten, während die übrige Oberfläche der Sonde III blank blieb, weil diese als eine stark negativ geladene Sonde durch die Entladung eine kathodische Zerstäubung erlitt, und auf ihr daher nichts abgelagert wurde. Gegenüber der Sonde IV war jedoch die Entladung und daher auch die Zerstäubung so schwach, dass die Ablagerung von an anderen Stellen entstandenen Zerstäubungsprodukten überwog. Bei einem Abstand von 0,5 mm zwischen den beiden Sonden betrug das Verhältnis des Teiles der Oberfläche der Sonde IV, der in den Dunkelraum der Sonde III eintauchte, zu der übrigen Oberfläche 1:100. Eine Beeinflussung des Potentials der Sonde IV durch dasjenige der Sonde III war auch bei den kleinsten Abständen zwischen den beiden, d. h. bei $\frac{1}{10}$ der Dunkelraumdicke, und bei den höchsten Spannungen zwischen der Anode und der Sonde III nicht

vorhanden. Die Sonde IV lud sich je nach der Grösse des Anodenfalles im Mittel auf rd. -40 V gegenüber der Anode auf, unabhängig davon, was für eine Spannung zwischen der Sonde III und der Anode vorhanden war. Der Anodenfall (d. i. Spannungsabfall in der Entladung an der Anode) änderte sich während den Versuchen um einige Volt, je nachdem, wie die Entladung an der Anode ansetzte. Würde man die Spannung der Sonde IV nicht gegenüber der Anode, sondern gegenüber dem Raumpotential ihrer Umgebung messen, so bekäme man natürlich einen ganz konstanten Wert.

Um die Oberfläche der Sonde IV an der Stelle des kleinsten Abstandes von der Sonde III zu vergrössern, wurde die erste Sonde abgeändert und, wie oben beschrieben, mit einer Scheibe am Ende versehen. Dadurch ist das Verhältnis der der Sonde III gegenüberliegenden Oberfläche der Sonde IV zu der übrigen Oberfläche dieser Sonde auf 1:5 gebracht worden. Bei diesen Versuchen war eine sichtbare Beeinflussung der Lichterscheinungen an der Sonde III durch die Sonde IV vorhanden; sie hörten in der Nähe der Sonde IV auf. Zwischen den beiden Sonden war kein Leuchten sichtbar. Die Untersuchung der Ablagerungen von Zerstäubungsprodukten an den Sonden nach den Versuchen ergab ebenfalls, dass im Spalt zwischen den Scheiben der beiden Sonden keine Entladung stattgefunden hatte. Eine Beeinflussung des Potentials der Sonde IV durch dasjenige der Sonde III war auch in diesem Fall nicht vorhanden. Die Spannung, auf die sich die erste im isolierten Zustand gegenüber der Anode auflud, betrug wiederum, unabhängig von der Spannung zwischen der Anode und der Sonde III, je nach dem Anodenfall, im Mittel etwa 40 V.

(MS 609)

R. Risch.

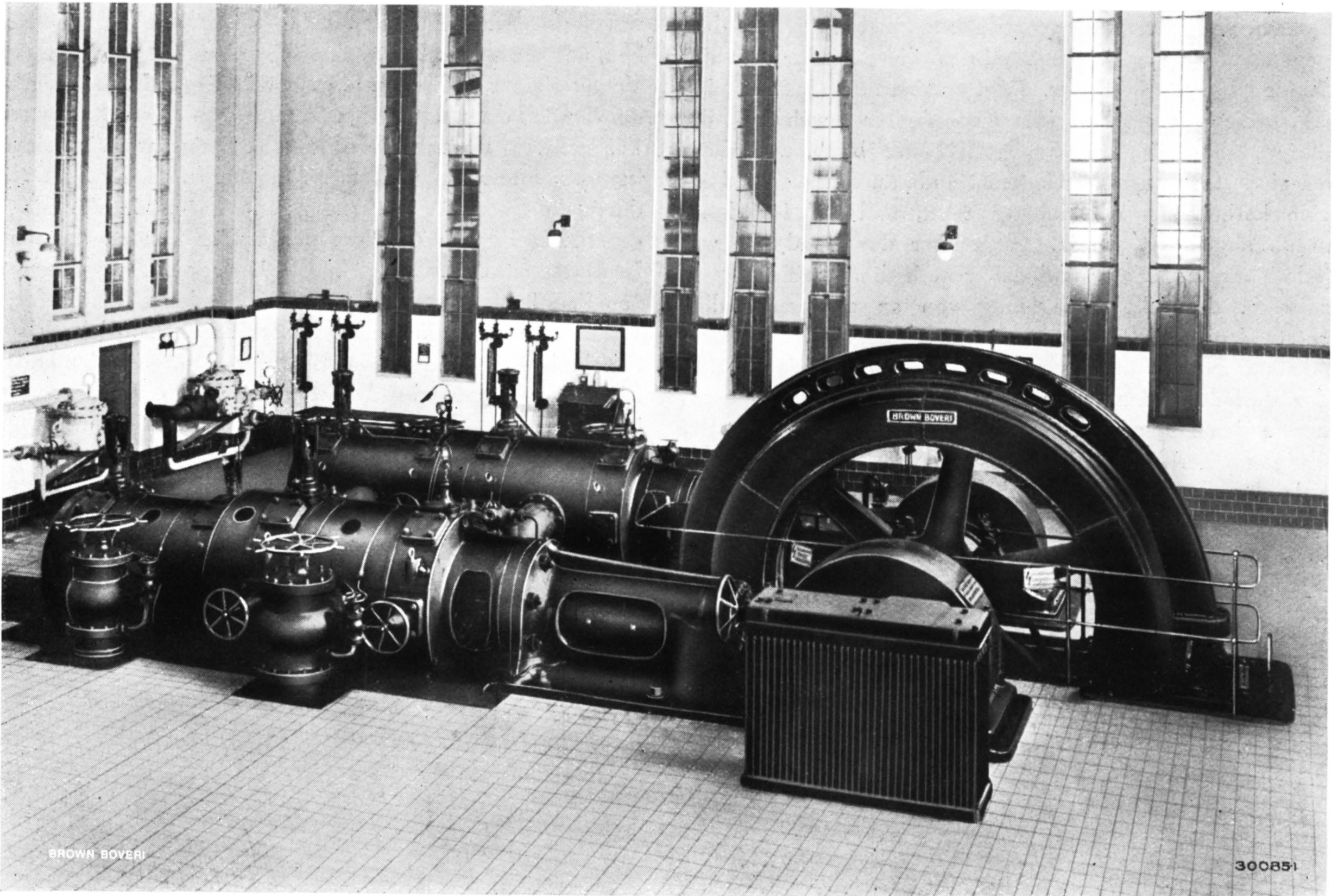


V. E. Marzotto, Lanificio, Valdagno.

Regelbarer Antrieb von doppelten Woll-Ringspinnmaschinen durch Dreiphasen-Kommutatormotoren mit im Lagerschild eingebautem Zahnradvorgelege.

AKTIENGESELLSCHAFT
BROWN, BOVERI & C^{IE}
BADEN (SCHWEIZ)

WERKSTÄTTEN IN BADEN (AARGAU) UND MÜNCHENSTEIN BEI BASEL



DREIPHASEN-WECHSELSTROMMOTOR
von 1620 kW Leistung, 153 Umdrehungen, 5500 V, 50 Perioden, zum Antrieb eines Kolbenkompressors.

MOTOREN ZUM ANTRIEB VON KOLBENKOMPRESSOREN
FÜR ALLE ANWENDUNGSGEBIETE WIE
KÄLTEANLAGEN, CHEMISCHE INDUSTRIE USW.

SONDERAUSFÜHRUNGEN MIT
SCHLAGWETTER- UND WASSERSTOFFSCHUTZ