

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 36 (1945)
Heft: 6

Artikel: Ein einschaltsicheres Prozent-Differentialrelais für Transformatoren
Autor: Hoel, H. / Stoecklin, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060208>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

ment untergebracht. Die zentrale Anordnung aller Bedienungselemente erlaubt eine gute Uebersicht über den Betrieb und eine rasche Anpassung an die jeweiligen Erfordernisse des Heizbedarfes und der Wärmequelle.

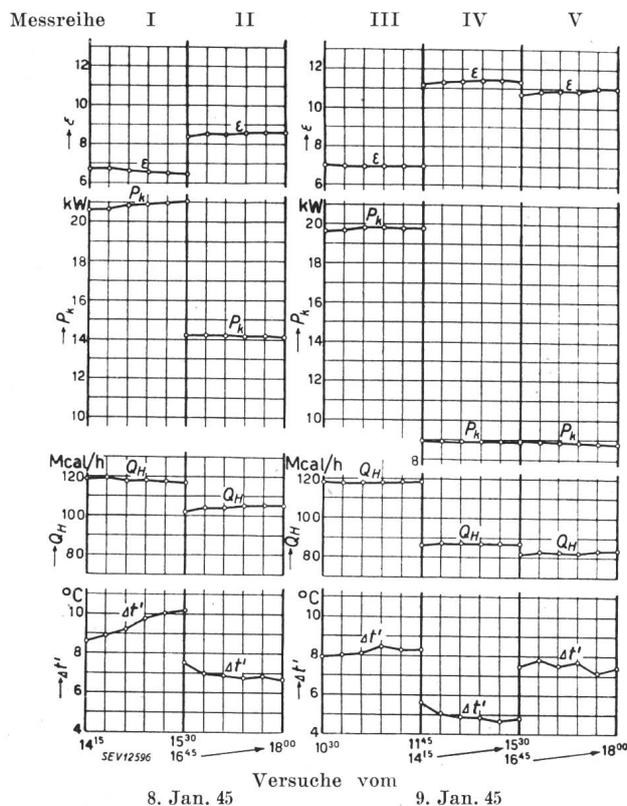


Fig. 8.
Messergebnisse vom 8. und 9. Januar 1945
an der Wärmepumpe Ezelwerk

$\Delta t'$ Vorlauftemperatur — mittlere Ablufttemperatur
 Q_H Heizleistung (netto) Mcal/h
 P_k Motorleistung an der Kompressor-Kupplung
 $\epsilon = \frac{Q_H}{860 P_k}$

Die Kompressorgruppe ist im Ventilationsschacht für die allgemeine Maschinenhausbelüftung untergebracht (Fig. 5). Sie besteht aus dem Rotationskompressor System Rotasco mit dem direkt gekuppelten Drehstrommotor, dem Oelabscheider, Oelkühler und den Rohrleitungen.

Der Grundriss Fig. 6 zeigt die gesamte systematische Eingliederung der Anlage in das Maschinenhaus des Kraftwerkes. Von der bestehenden Zentralheizanlage mussten nur die Vor- und Rücklaufleitungen bis zum Verflüssiger der Wärmepumpe erstellt werden. Der zusätzliche Druckabfall im Heizwasser-Netz ist ganz unbedeutend, so dass auch die bestehende Umwälzpumpe belassen werden konnte.

In Fig. 7 ist der Temperatur-Registrierstreifen für einen normalen Heiztag wiedergegeben. Aus diesem Diagramm ist die Anpassungsfähigkeit der Wärmepumpe an die variierende Temperatur der Maschinen-Abluft ersichtlich.

Der Energieverbrauch für den Antrieb der Wärmepumpe inkl. demjenigen für den von Fall zu Fall zugeschalteten Durchflusserhitzer ist im Diagramm Fig. 1 durch die mit d und j bezeichneten Punkte zunächst für die beiden ersten Betriebsmonate Dezember 1944 und Januar 1945 nachgetragen. Bei normalem Anfall von Generatoren-Abluftwärme, jedoch extremer Anzahl Minus-Grad-Tage wurden mit der Wärmepumpe ca. 75 % des früheren kWh-Verbrauches eingespart.

Nach einem Monat Betrieb wurden genaue Messungen zusammen mit der Werkleitung ausgeführt. Die hauptsächlichsten Resultate sind in Fig. 8 graphisch zusammengefasst. Die Leistungsziffer, welche über die Güte der Anlage Aufschluss gibt, liegt durchweg über 6 und ist auch bei reduzierter Leistung sehr gut. Die Messreihe IV ergab Leistungsziffern von mehr als 11.

Diese erste Anlage hat nicht nur die gestellten Bedingungen erfüllt, sondern die Erwartungen in Leistung und Leistungsziffer sogar übertroffen.

Da es in der Schweiz viele Kraftwerke gibt, bei welchen ähnliche Verhältnisse vorliegen, ist zu erwarten, dass eine Reihe solcher Anlagen erstellt werden. Die dadurch an der Quelle freiwerdende elektrische Energie kann der Industrie oder für den Antrieb weiterer Wärmepumpenanlagen, bei denen der Ersatz von flüssigen oder festen Brennstoffen in Frage kommt, zugeführt werden.

Adresse des Autors:

A. Kornfehl, Ingenieur der Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G., Zürich.

Ein einschaltsicheres Prozent-Differentialrelais für Transformatoren

Von H. Hoel und J. Stoecklin, Baden

621.316.925.2

Es wird ein neues Brown-Boveri-Relais beschrieben, bei dem die bisher üblichen Einrichtungen gegen den Einschaltstromstoss und deren Mängel beseitigt sind.

Les relais différentiels pour la protection de transformateurs, réalisés jusqu'ici, nécessitaient des dispositifs auxiliaires pour compenser l'effet du courant d'enclenchement. Le nouveau relais Brown Boveri décrit permet de se passer de ces dispositifs et d'éviter ainsi leurs inconvénients.

Der Differentialschutz von Transformatoren vergleicht die ein- und ausfliessenden Ströme und spricht an, wenn der Differenz- oder Fehlerstrom einen bestimmten Wert überschreitet. Der Magnetisierungsstrom wird von der speisenden Transformatorseite geliefert und spielt im Relais die Rolle eines Fehlerstromes. Damit das Relais nicht schon im ungestörten Betrieb auslöst, stellt man den klein-

sten Arbeitsstrom über den Magnetisierungsstrom ein, in der Regel auf etwa 20 % des Nennstromes.

Etwas anders liegen die Verhältnisse beim Zuschalten des Transformators. Im ersten Augenblick kann der Magnetisierungsstrom den späteren stationären Wert um das hundertfache überschreiten, je nach dem zufälligen Augenblickswert der Spannung im Einschaltmoment und je nach der remanenten

Vormagnetisierung des Transformatoreisens. Die Grösse des Anfangswertes hängt auch von den Konstanten des Transformators und der Leistung der Speisequelle ab. Für das Relais bedeutet dieser Einschaltstrom genau dasselbe wie ein Kurzschluss im Transformator; ohne Gegenmassnahmen würde es daher sofort auslösen. Der Einschaltstrom klingt zudem ausserordentlich langsam auf den stationären Magnetisierungsstrom ab. In ungünstigen Fällen bleibt der Relaiskontakt bis gegen 3 s geschlossen; solange kann es dauern, bis der Einschaltstrom auf den Rückfallwert des Relais abgeklungen ist.

Die Aufgabe besteht also darin, den an sich bestechend einfachen Differentialschutz von der störenden Wirkung des Einschaltstromes zu befreien. Dieses Problem hat die meisten auf dem Gebiet der Schutztechnik namhaften Firmen beschäftigt und zu einer ganzen Reihe verschiedenartiger Lösungen geführt. Sie alle erfordern zunächst einen unverhältnismässig grossen Aufwand an zusätzlichen Apparaten, Hilfskontakten auf den Schaltern und Verbindungsleitungen, unter denen die Einfachheit des Schutzprinzips mehr oder weniger verloren geht. Daneben verringern diese Einrichtungen meist auch die Güte des Schutzes. So wird bei der gebräuchlichsten Abhilfsmassnahme, den Hilfskontakten auf den Transformatorschaltern, die Empfindlichkeit des Relais während 1...3 s vorübergehend bis zur Unwirksamkeit herabgesetzt. Falls einmal eine Störung beim Zuschalten des Transformators entstehen sollte, so würde sie erst nach Ablauf dieser Sperrzeit abgeschaltet. Ein anderer Nachteil liegt darin, dass die Blockierwirkung auf das Einschalten mit den Transformatorschaltern beschränkt bleibt. Es muss mit dem möglichen Fehlauflösen des Schutzes gerechnet werden, falls der Transformator einmal, bei geschlossenen eigenen Schaltern, von der Leitung her unter Spannung gesetzt wird. Der gleiche Fall kann auch nach einem Netzkurzschluss eintreten, wenn die zusammengebrochene Spannung beim Abschalten des Kurzschlusses plötzlich wieder erscheint.

Wie erinnerlich, kamen diese Fragen an der Diskussionsversammlung des SEV über Transformatoren vom 13. Juli 1944 zur Sprache¹⁾. Damals standen Versuche mit einem neuen Relais im Laboratorium von Brown Boveri unmittelbar vor dem Abschluss; die Bekanntgabe der Ergebnisse erschien den Firmenvertretern in diesem Zeitpunkt noch etwas verfrüht. Seither konnten, dank dem Entgegenkommen mehrerer Werke, umfassende Versuche mit Transformatoren von 2...20 MVA durchgeführt werden, die vollauf befriedigten. Heute stehen bereits eine ganze Anzahl dieser Relais im Betrieb; daher dürften jetzt einige Angaben über Wirkungsweise und Verhalten dieses Apparates von Interesse sein.

Die Ursache des überhöhten Leerlaufstromes beim Einschalten ist eine abklingende Gleichstrommagnetisierung im Transformatoreisen. Sie erzeugt eine einseitige hohe Eisensättigung und damit, trotz

sinusförmiger Speisespannung, eine stark verzerrte Stromkurve. Die Gleichstromkomponente wird von den Stromwandlern praktisch nicht übertragen, es entsteht daher im Differentialrelais ein Wechselstrom mit der typischen Kurvenform nach Fig. 1a.

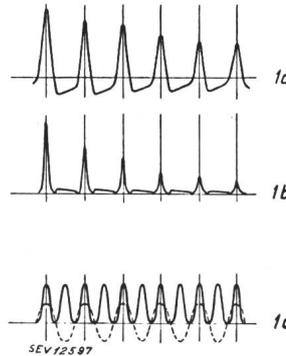


Fig. 1.
Kurvenform des Einschaltstromes und des Drehmomentes im Relais
1a Kurvenform des Einschaltstromes
1b Drehmoment im Relais bei Stromkurve 1a
1c Drehmoment im Relais bei sinusförmigem Strom
Die mechanische Frequenz des Einschaltstromes (1b) ist halb so gross wie bei Sinusform (1c)

Die neue Lösung geht von der *mechanischen Kraftwirkung* aus, welche diese eigenartige Stromkurve auf das Eisendrehsystem des Relais ausübt. Zunächst ist in Fig. 1c der bekannte Verlauf des Drehmomentes eines sinusförmigen Wechselstromes dargestellt. Die mechanische Frequenz ist *doppelt* so gross wie die Frequenz des Wechselstromes. Die Kurvenform des Einschaltstromes Fig. 1a zeigt dagegen ein Drehmoment, das in Fig. 1b aufgezeichnet ist und, wie ersichtlich, mit der *gleichen* Frequenz verläuft wie der Einschaltstrom. Die mechanische Frequenz des Einschaltstromes ist also halb so gross wie die, welche von einem sinusförmigen Strom herrührt.

Diese klare Unterscheidungsmöglichkeit zwischen Einschalt- und Kurzschlußstrom dient im neuen Relais zum Verhindern der Kontaktgabe beim Ein-

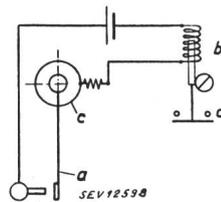


Fig. 2.
Kontaktkreis des TG-Relais
a Abgestimmte Kontaktfeder
b Zeitverzögerter Auslöseschütz
c Drehsystem des Relais
d Auslösekontakt

schalten. Zu dem Zweck sind Drehsystem und Kontaktzunge des Relais auf die mechanische Frequenz des Einschaltstromes abgestimmt. Wie Fig. 2 zeigt, schaltet der abgestimmte Kontakt a des Differentialrelais die Spule eines einstellbaren Zeitschützes b, das den eigentlichen Auslösekontakt d trägt. Unter der Wirkung des Einschaltstromes schliesst der Kontakt a intermittierend im Takte mit der angestossenen Eigenfrequenz. Die Dauer der Schliessimpulse ist aber viel kürzer als die auf etwa 0,1 s eingestellte Verzögerungszeit des Schützes. Dieses fällt daher in jeder Unterbrechungszeit wieder in die Ausgangslage zurück und kommt nicht dazu, den Auslösekontakt d zu schliessen. Die beschriebene Wirkungsweise geht deutlich aus dem Einschaltoszillogramm Fig. 3 eines 5-MVA-Transformators hervor. Fig. 3a zeigt den Einschaltvorgang, während Fig. 3b einen Ausschnitt des Oszillogrammes nach 1 s vermittelt. Zu Beginn, Fig. 3a, verlaufen die Kon-

¹⁾ Bull. SEV 1944, Nr. 23, S. 673.

taktimpulse *b* auf den Zeitschütz unter der Wirkung des hohen Einschaltstromes im Takte mit den einzelnen Stromstößen. Schliess- und Oeffnungszeiten sind hier etwa gleich gross. Der eingezeichnete Zeitmaßstab von 0,1 s bedeutet gleichzeitig die Verzöger-

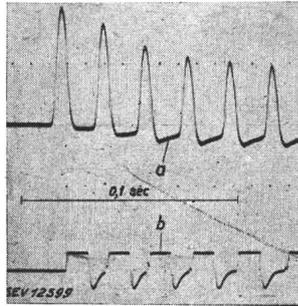


Fig. 3a. Beginn

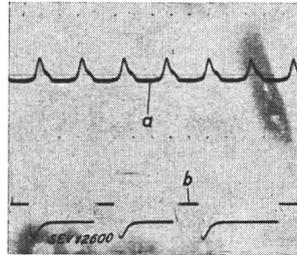


Fig. 3b. 1 s nach Beginn

Fig. 3. Wirkungsweise des abgestimmten Kontaktes beim Einschalten eines Drehstrom-Transformators von 5 MVA
a Einschaltstrom des Transformators
b Einschaltimpulse auf die Spule des Zeitschützes

rungszeit des Schützes. — Eine Sekunde später, Fig. 3b, ist der Strom *a* schon stark abgeklungen, aber noch immer etwa 10mal grösser als der stationäre Leerlaufstrom. Die Schliessimpulse *b* sind etwa gleich lang wie zu Beginn; dagegen werden die Unterbrechungszeiten grösser und unregelmässiger. Das ist gut verständlich, denn die abgestimmte Kontaktfeder wird bei kleinerem Strom weniger oder nicht mehr vorgespannt und die jetzt benötigte Rückführzeit des offenen Kontaktes ist u. a. von der Rückführkraft, also von der Stromgrösse, abhängig.

Beim Dreiphasen-Transformator ist die *Kurvenform* des Einschaltstromes in den drei Leitern unter sich, aber auch von einer Schaltung zur andern ungleich, weil sich hier die Leiterströme aus den zufälligen Einschaltströmen der einzelnen Phasen zusam-

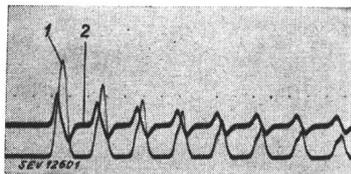


Fig. 4. Extreme Kurvenformen des Einschaltstromes eines Drehstrom-Transformators
 Phase 1, völlig asymmetrischer Verlauf
 Phase 2, nahezu «symmetrischer» Verlauf

menetzen. Diese Variation spielt sich indessen innerhalb von 2 Grenzformen ab, die zufälligerweise einmal gleichzeitig eintraten und auf dem Oszillogramm Fig. 4 erwischt wurden. Phase 1 verläuft völlig asymmetrisch, während Phase 2 eine «symmetrische» Form aufweist. Die im Oszillogramm fehlende 3. Phase hat hier die gleiche Form wie Phase 1. Die Addition der Ströme 1 und 3 ergibt dann die scheinbar symmetrische Kurve 2. Trotz der äusserlichen Verschiedenheit erzeugen aber beide Kurvenformen der Fig. 4 die gleiche mechanische Frequenz. Es lässt sich dies, wie übrigens die ganze, hier nur physikalisch dargestellte Wirkungsweise des Relais, auch rechnerisch nachweisen, wenn man von der Analyse der Einschaltstromkurven ausgeht.

Bei Windungs- oder Kurzschluss im Schutzgebiet wird das Relais vom Kurzschlußstrom erregt. Der Relaiskontakt schliesst jetzt unterbrechungsfrei solange bis das Zeitschütz die Transformatorschalter ausgelöst hat. Fig. 5 zeigt die Auslösezeit des Relais

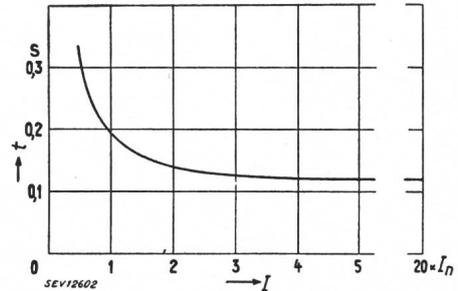


Fig. 5. Auslösezeit des TG-Relais bei 0,1 s Verzögerung des Zeitschützes

in Abhängigkeit des Differenzstromes für die meist übliche Einstellzeit des Schützes von 0,1 s. Es ist in diesem Zusammenhang auch durch Versuche festgestellt worden, dass die mögliche Abweichung des Kurzschlußstromes von der Sinusform infolge von Oberwellen keinen Einfluss auf die Wirkungsweise und Abschaltzeit des Relais ausüben kann. Ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn der Kurzschlussstrom asymmetrisch beginnt. Grundsätzlich erzeugt auch die Asymmetrie des sinusförmigen Stromes innerhalb gewisser Grenzen die mechanische Sperrfrequenz. Die Zeitdauer der Unsymmetrie bei Kurzschluss ist durch die Zeitkonstante *T* gegeben, mit welcher die Gleichstromkomponente im Relaiskreis, also sekundärseitig der Stromwandler, abklingt. Wie das Oszillogramm Fig. 6 zeigt, das bei einem Klemmenkurzschluss an einem 5-MVA-Transformator aufgenommen wurde, erreicht diese Zeitkonstante

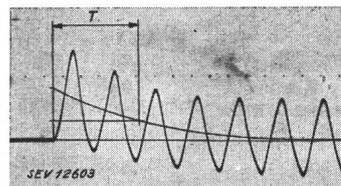


Fig. 6. Asymmetrischer Strom im Relais bei Kurzschluss auf den Transformator-Klemmen
T Zeitkonstante des Gleichstromgliedes

nur wenige Halbwellen. Die mögliche Verlängerung der Abschaltzeit liegt daher in der Grössenordnung von wenigen $1/100$ s und ist daher praktisch belanglos.

Schliesslich wurde auch untersucht, welchen Einfluss eine vom Nennwert abweichende Frequenz auf das richtige Arbeitsverhalten des Relais ausübt. Dieser Punkt mag vielleicht deshalb etwas kritisch erscheinen, weil das Relais mit einer festen Eigenschwingungszahl des Kontaktsystemes arbeitet. Der Frequenzabhängigkeit wurde denn auch bei der konstruktiven Durchbildung des Kontaktes besondere Aufmerksamkeit geschenkt und schliesslich eine Frequenzunempfindlichkeit erreicht, die allen Anforderungen genügt. Das sichere Arbeiten des Relais, sowohl im Sinne der Sperr- als auch der Aus-

lösewirkung umfasst Frequenzabweichungen von mehr als $\pm 15\%$ vom Nennwert.

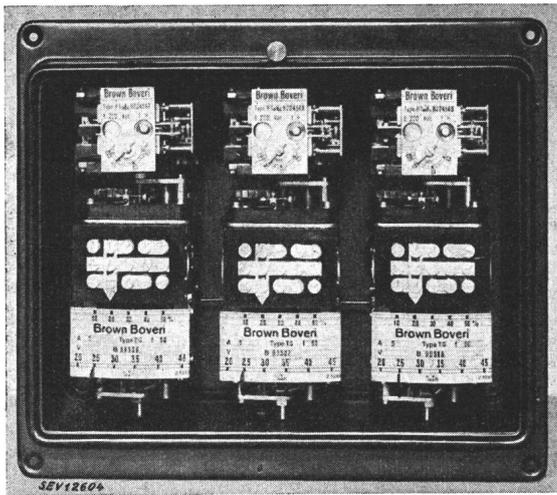


Fig. 7.

Das 3polige Prozent-Differentialrelais TG ist der ganze Apparatebedarf des einschaltseheren Prozentschutzes für Transformatoren

Das dreipolige Prozentdifferentialrelais mit dem jeder Phase zugeordneten Zeitschütz nach Fig. 7 ist der gesamte Apparatebedarf des TG-Schutzes. Zur phasenweisen Störungsanzeige sind die eingebauten Zeitschützen mit Signalen ausgerüstet.

Das beschriebene Schutzrelais bringt zusammengefasst folgende Neuerungen:

1. Alle bisher benötigten Zusatzapparate und Schaltkontakte mit Hilfsleitungen fallen weg.
2. Die Einschaltsperrung ist in *allen Fällen* wirksam und nicht mehr auf das Zuschalten des Transformators mit den eigenen Schaltern beschränkt.
3. Die bisher verlängerte Abschaltzeit, falls beim Zuschalten eine Störung entsteht, ist beseitigt. Die Abschaltzeiten sind so kurz, dass sie sich in jedes selektive Netzschutzsystem einfügen.
4. Der einfache Aufbau des Differentialrelais selbst erleidet keinerlei Einbusse. Auch der Leistungsverbrauch und damit die Belastung der Stromwandler wurde nicht erhöht.

Adressen der Autoren:

Hans Hoel, Ingenieur, Bolleystrasse 13, Zürich 6.
J. Stöcklin, Ingenieur, Badstrasse 61, Baden.

Der Spannungsfehler von Kompensations-Röhrenvoltmetern

Von Erwin de Gruyter, Bern *)

621.317.725 : 621.385.8

Nach einleitender Diskussion über die Betriebsbedingungen eines Kompensations-Röhrenvoltmeters befasst sich der Aufsatz zunächst mit der Berechnung der Anzeigefehler unter Zugrundelegung einer gebrochenen Röhrenkennlinie. Darauf wird eine neue einfache Ersatz-Kennlinie entwickelt, die gegenüber den bekannten erstmals den Bedürfnissen der Gleichrichter-Praxis genügt. Dann werden hierfür die Fehlerberechnungen durchgeführt und neben den sinusförmigen auch allgemein trapezförmige Wechselspannungen berücksichtigt mit den Grenzfällen der Dreieck- und Rechteckspannungen. Zum Schluss wird der günstigste Arbeitspunkt auf der Röhrenkennlinie bestimmt und ein ausgeführtes Kompensations-Röhrenvoltmeter beschrieben; eine Vergleichs-Eichung bestätigt die Brauchbarkeit der entwickelten Rechenmethode.

Après avoir discuté des conditions de fonctionnement d'un voltmètre électronique à compensation, l'auteur s'occupe du calcul de l'erreur de l'indication basé sur une caractéristique brisée des tubes. Il établit ensuite une nouvelle et simple caractéristique de substitution, qui satisfait pour la première fois aux exigences de la pratique des redresseurs. Il calcule alors les erreurs, en tenant compte non seulement des tensions alternatives de forme sinusoïdale, mais aussi des tensions de forme trapézoïdale en général, avec les cas limites des tensions triangulaires et rectangulaires. Pour terminer, M. de Gruyter détermine le point de fonctionnement le plus favorable de la caractéristique des tubes et décrit l'exécution d'un voltmètre électronique à compensation. Un étalonnage comparé permet de constater l'utilité de la méthode de calcul expliquée.

A. Einleitung

Fig. 1 zeigt das Prinzipschema eines Kompensations-Röhrenvoltmeters, im folgenden abgekürzt mit KV bezeichnet. U_a ist die Anodenspannung der Messröhre, U_m die feste Gittervorspannung, U_k die mit dem Potentiometer P einstellbare und am Voltmeter V ablesbare Kompensationsspannung, welche die Wirkung der mit ihr in Serie auf das Röhren-gitter gegebenen zu messenden Spannung U_x aufheben soll, was am Milliampere-meter mA festgestellt werden kann. Führt eine zu untersuchende Wechselspannungsquelle auch Gleichspannung, so kann die gestrichelt eingezeichnete Gitterkombination RC als Sperre dienen. Die Kondensatoren C_1 und C_2 sorgen für ausreichenden Wechselstrom-Nebenschluss und machen bei richtiger Dimensionierung das KV in sehr weiten Grenzen frequenz-unabhängig. Die obere Grenze ist bedingt durch die Eingangs-Querkapazität des KV, die sich aus Schalt- und Röhrenkapazität zusammensetzt und

damit eine Belastung der Wechselspannungsquelle bedeutet. Die untere Grenze wird bestimmt durch die Eigenfrequenz des Milliampere-meters und durch die Zeitkonstante des eventuell verwendeten RC -Gliedes, dessen Frequenzfehler aber einfach berechenbar ist.

Welchen Arbeitspunkt wählt man nun zweckmässig für die Messröhre eines KV? Diese Kernfrage zieht sich als roter Faden durch alle nun folgenden Betrachtungen mit interessanten und teilweise bisher unbekanntem Ergebnissen und wird dann am Schluss präzise beantwortet.

Das Schaltbild Fig. 1 zeigt eine Röhre mit Gitter: Sie hat gegenüber dem einfachen Gleichrichter den Vorteil, den Anodenstrom bei erhöhter Empfindlichkeit leistungslos steuern zu können. Die folgenden Ueberlegungen gelten aber gleichermaßen für Dioden und Trioden, denn die Anodenspannungs-Anodenstrom-Charakteristik einer Diode ist ähnlich der Gitterspannungs-Anodenstrom-Charakteristik einer Triode. Die Anoden- bzw. Gitter-

*) Eingang: 17. 2. 1943.