Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 10 (1919)

Heft: 1

Artikel: Berücksichtigung der Beglaubigungsvorschriften bei der Vorausberechnung der Stromwandler

Autor: Wirz, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057128

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: 22.08.2025

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

und zwar für *grössere Anschlüsse ab Kraftnetz*, für *kleinere* (z. B. bis 5 oder 8 oder 10 kW) *ab Licht- beziehungsweise allgemeinem Verteilnetz* soweit dieses reicht, damit nach Möglichkeit Heizung von Wohnungen eintreten kann, ohne dass besondere Zuleitungen erstellt werden müssen,

alles mit *Sonderzähler* für diesen Nachtstrom;

b) *gemischte Abgabe von Nachtstrom (mit Sperrung* für die Oefen zu andern Zeiten) und von *Tagestrom* und *Lichtspitzenzeitstrom, für alle Haushaltungszwecke gemischt,* nach *Doppel-* oder besser *Dreifachtarif;*

der *Nachtstrom* wie unter a) von 10 Uhr, besser 9 Uhr abends bis 6 Uhr morgens und mittags $12^1/_2 \div 1^1/_2$ Uhr, zu *4 bis 6 Rp./kWh,* der *„Tagesstrom"* hauptsächlich zum kochen, weiter zum plätten, staubsaugen, dörren, ventilieren etc. etwa zu maximal *7 bis 10 Rp./kWh,* hoher Tarif nur zu *Lichtspitzenstunden* zu *40÷50,* allerhöchstens 60 (in grossen Städten mit Kabelnetzen) Rp./kWh, mit Sicherung gegen allzuhohe Leistungsbeanspruchung durch Sperrung der Oefen ausser Nachnacht und gleichzeitig neben dem Kochherd (Sperrschalter, Umschalter, Maximalschalter usw.), eventuell mit Maximaltaxe pro kW-Jahr; soweit irgend möglich *ab allgemeinem Leitungsnetz* aus gleichen Gründen wie oben;

c) *kombinierte Koch- und Heizstromabgabe ab Kraftnetz,* eventuell mit eigenem Haustransformator, mit *besonderem Zähler,* zum *Einfachtarif* wie Motorenstrom, mit Abstufung des Einheitspreises für höhere Benützungsstunden beziehungsweise höhere Beträge nach bekannten Systemen; eventuell mit Minimaltaxe pro Jahres-kW und Sicherung gegen Ueberschreiten der zugelassenen Leistung, für grössere Familien, Villen und dergleichen. Diese Abgabeform gestattet dem Abonnenten indirekte und direkte Heizung und günstige Kombination mit der Küche; die Lichtabgabe für dasselbe Haus geschieht dabei ab Lichtleitung mit besonderer Zählung und Berechnung.

d) Ausnahmsweise, wo die Leitungsverhältnisse des Werkes es erlauben, mag *Permanent-Heizstrom ab Kraftnetz* abgegeben werden. Preisabstufung nach Gebrauchsdauer oder Minimaltaxe pro kW-Jahr (oder beides zusammen) müssen dabei für möglichst ununterbrochenen Bezug entsprechend kleinerer Leistung während der ganzen Heizsaison, d. h. für hohe Gebrauchsdauer sorgen. Die Preise werden bei gleicher Gebrauchsdauer ähnlich, eventuell etwas höher (wegen Winterbeanspruchung) als für Motorengebrauch sein.

e) Die *Ansetzung eines* (etwa um 1÷2 Rp./kWh) *billigeren Sommerpreises,* namentlich für *Nachtkraft,* hat zwar keine Bedeutung für eigentliche Raumheizung, ist aber dennoch *angezeigt,* weil sie den Anschluss der verwandten, das ganze Jahr durch Strom beziehenden *Heisswasserspeicher, Backöfen* und *industriellen Trockenanlagen fördert.*

Berücksichtigung der Beglaubigungsvorschriften bei der Vorausberechnung der Stromwandler.

Von Privatdozent *Dr. Ing. E. Wirz*, Zürich.

Mit 1. Januar 1917 ist ein eidgenössisches Gesetz in Kraft getreten, nach welchem Elektrizitätsverbrauchsmesser und zugehörige Messwandler einer amtlichen Prüfung und Stempelung unterworfen sind.

In diesem Gesetz sind nun die Bedingungen festgelegt, unter welchen derartige Apparate zur amtlichen Stempelung und Systemprüfung zugelassen werden und welchen Fehlergrenzen und Anforderungen solche Zähler und Messwandler entsprechen müssen.

Für die fabrikationsmässige Herstellung solcher Apparate ist es nun von ausserordentlich grosser Wichtigkeit, dass schon bei der Vorausberechnung und Konstruktion mit ein-

fachen Mitteln die Beglaubigungsbedingungen berücksichtigt werden können, um die Arbeit bei der Einstellung und Abgleichung auf die richtige Fehlergrenze zu erleichtern und um teure Arbeitslöhne und Material nach Möglichkeit zu sparen.

Im folgenden sollen deshalb für einen Teil solcher Apparate, nämlich für die Stromwandler, neue Beziehungen abgeleitet werden, nach welchen alle Beglaubigungsbedingungen einwandfrei nachgeprüft und berücksichtigt werden können.

Nach dem oben erwähnten eidgenössischen Gesetz müssen solche Stromwandler ausser den allgemeinen Vorschriften über die Aufschriften in der Hauptsache folgenden Bedingungen genügen:

1. Die Belastbarkeit im Sekundärkreis muss grösser als 10 Voltampere sein.
2. Zwischen den Stromstärken von 10 bis 100 % des Nennwertes und bei der angegebenen Frequenz darf das Uebersetzungsverhältnis nicht mehr als 1 % vom Sollwert abweichen.
3. Die Phasenverschiebung zwischen dem primären und sekundären Strom darf 1 Grad nicht überschreiten.

Ausser diesen Bedingungen kommen dann ferner auch noch die Vorschriften über die Spannungsprüfung in Betracht, die jedoch hier für unsere Betrachtungen weniger Bedeutung haben.

Wie der Verfasser bereits in früheren Arbeiten gezeigt hat, lassen sich die beiden letzten Bedingungen verhältnismässig leicht erreichen, wenn wir auf die Belastbarkeit keine grosse Rücksicht nehmen. In diesem Falle ist es ja lediglich nur Voraussetzung für möglichst kleine Fehler, dass wir die Stossfugenamperewindungszahl auf ein Mindestmass herabsetzen, die Windungszahlen nicht zu klein wählen und möglichst Bleche mit kleiner Verlustziffer verwenden.[1])

Etwas komplizierter wird jedoch dann die Sache, wenn auch gleichzeitig ausser dem Uebersetzungsverhältnis und der Winkelabweichung auch noch die Belastbarkeit mitberücksichtigt werden soll und vorgeschrieben wird.

Wir haben also jetzt drei von einander abhängige Veränderliche, die sich nur in bestimmten Grenzen bewegen sollen und die Eisenabmessungen, sowie die maximale Eisenbeanspruchung bestimmen. Da alle diese Grössen wiederum von einander nach einer bestimmten Gesetzmässigkeit abhängen, die in der Hauptsache durch den Verlauf der Magnetisierungskurve bestimmt ist, so wird auch diese Aufgabe zwar nicht gerade leicht, aber auch nicht sehr schwierig zu lösen sein, wenn wir eben nur die Arbeitsbedingungen sinngemäss zerlegen und anwenden.

Die folgenden theoretischen Untersuchungen und Betrachtungen sind aus rein experimentellen Ergebnissen entstanden und fussen zunächst ganz allgemein auf der Tatsache, dass ein beliebiger Transformator mit zunehmender Sekundärlast schliesslich bei bestimmten Werten des sekundären Stromes und der sekundären Spannung ein Maximum der Sekundärlast aufweist.

Es lag deshalb auch für den Stromwandler dieselbe Annahme nahe, dass auch dieser bei bestimmten Strömen, beziehungsweise bei bestimmten Uebersetzungsverhältnissen, eine maximale Belastbarkeit aufweisen muss.

In der Tat lässt sich auch auf sehr einfache Weise experimentell zeigen, dass jeder Stromwandler bei einem bestimmten Uebersetzungsverhältnis und bei konstant gehaltenem Primärstrom ein Maximum der Sekundärlast aufweist.

Lässt man nämlich die primäre Stromstärke J_1 konstant, belastet sukzessive den Sekundärkreis des Stromwandlers und misst schliesslich bei jeder Belastung sowohl den Sekundärstrom als auch die sekundäre Klemmenspannung, so erhalten wir damit für den betrachteten Primärstrom die sogenannte *Belastungscharakteristik,* die uns sehr wertvollen Aufschluss über das Verhalten des Stromwandlers gibt.

---

[1]) Siehe Berechnung der Stromwandler, Bulletin, Jahrgang 1913, Heft 11, sowie Untersuchungen an Stromwandlern, Archiv für Elektrotechnik, Band VI, Seite 23.

Am zweckmässigsten trägt man die so experimentell aufgenommenen Werte von Strom und Spannung in einem rechtwinkligen Koordinatensystem auf, wie dies z. B. in Fig. 1 dargestellt ist. Für ein beliebiges Wertepaar der Spannung und des Stromes stellt dann in dieser Charakteristik der von diesen Werten eingeschlossene Flächeninhalt die Belastung des Stromwandlers in Voltampere dar, wie dies in Fig. 1 durch die schraffierte Fläche dargestellt ist.

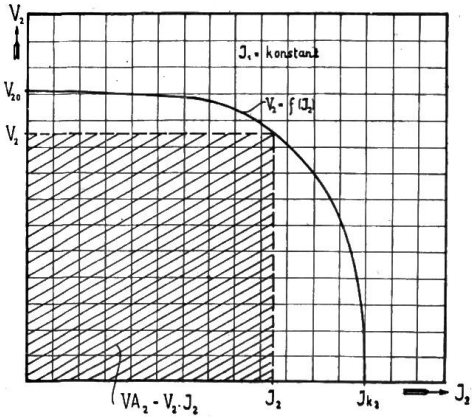

Fig. 1.
Belastungscharakteristik eines Stromwandlers bei konstantem Primärstrom.

Wie aus dieser Charakteristik hervorgeht, ist bei vollständig offenen Sekundärklemmen die Sekundärspannung ein Maximum, nämlich $V_2 = E_2$, d. h. gleich der induzierten sekundären elektromotorischen Kraft. Bei kurzgeschlossenen Sekundärklemmen dagegen ist $V_2 = 0$ und J_2 ein Maximum.

In beiden Fällen muss daher die Anzahl der sekundär abgegebenen Voltampere gleich Null sein, so dass notwendigerweise die Sekundärlast zwischen diesen beiden Werten ein Maximum aufweisen muss, wie dies z. B. in Fig. 2 für einen beliebigen Wert des Primärstromes dargestellt ist.

Selbstverständlich muss für jeden beliebigen Wert des Primärstromes ein sekundäres Leistungsmaximum auftreten, das jedoch je nach der Grösse des Primärstromes verschieden grosse Werte erreicht. Da die sekundäre Belastung durch die Beziehung ausgedrückt werden kann

$$VA_2 = J_2^2 \cdot Z_A$$

wenn Z_A die sekundäre Belastungsimpedanz und VA_2 die Anzahl Voltampère darstellt, so wird das sekundäre Leistungsmaximum auch mit dem Quadrate des Primärstromes zunehmen, wobei dann aber die Belastungsimpedanz Z_A keine konstante Grösse bleibt, sondern sich ebenfalls mit dem Primärstrome nach einem eigentümlichen Gesetz verändert.

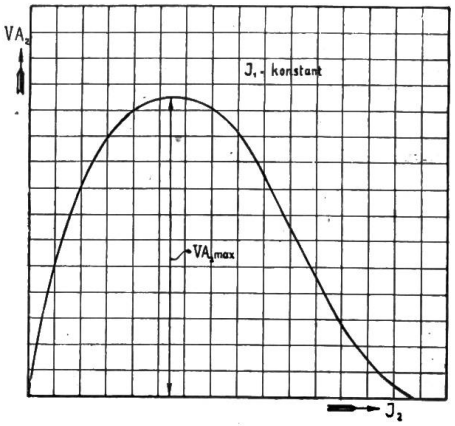

Fig. 2.
Sekundärleistung in Voltampère als Funktion des Sekundärstromes.

Experimentelle Untersuchungen zeigen nämlich, dass Z_A zuerst zunimmt, ein gewisses Maximum erreicht und dann wieder mit steigendem Primärstrom rapid abnimmt.

In Fig. 8 ist eine solche Kurve dargestellt, die die Belastungsimpedanz Z_A für maximale Sekundärlast in Abhängigkeit der Induktion darstellt und auffallende Aehnlichkeit mit der Belastungskurve der Fig. 2 hat.

Wie nun derartige Stromwandleruntersuchungen zeigen, spielt gerade diese Kurve der Impedanz Z_A eine wichtige Rolle, indem Z_{Amax} als Kriterium für die Güte der Fehlerkurve anzusehen ist. Ermitteln wir nämlich bei der Nennstromstärke und kurzgeschlossenen Sekundärklemmen die Grösse der Eiseninduktion und ebenso diejenige bei maximaler Sekundärlast bei primärer Nennstromstärke, und tritt die maximale Belastungsimpedanz in der Kurve der Fig. 8 zwischen diesen Werten auf, so ist die Fehlerkurve des Stromwandlers ohne weiteres unbrauchbar, da ein Stromwandler nur auf dem aufsteigenden Ast dieser Kurve mit den vorgeschriebenen Fehlergrenzen arbeiten kann.

Bei vorgeschriebenen Fehlergrenzen muss daher die Spitze der Z_A-Kurve stets oberhalb der höchsten zulässigen Belastung liegen.

Wir wollen deshalb im folgenden kennen lernen, wie wir aus den Hauptgleichungen eines Stromwandlers alle diese Grössen bestimmen können, damit den gesetzlichen Bestimmungen Genüge geleistet wird.

Um die zu diesem Zwecke notwendigen Beziehungen herzuleiten, gehen wir am zweckmässigsten von der allgemeinen Arbeitsgleichung eines Stromwandlers aus, wie sie der Verfasser bereits in einer früheren Arbeit[1]) abgeleitet hat.

Legen wir die symbolische Schreibweise zugrunde mit rechtsdrehenden Vektoren, so lautet die Arbeitsgleichung eines Stromwandlers ganz allgemein

$$\boldsymbol{J}_1 = \boldsymbol{C}_2 \cdot \boldsymbol{J}_2' + \boldsymbol{V}_2' \cdot \boldsymbol{y}_a \tag{1}$$

Hierin bedeutet dann J_1 den primären Strom oder Netzstrom, J'_2 den auf die primäre Wicklung reduzierten Sekundärstrom bei der betrachteten Sekundärbelastung und V'_2 die auf die primäre Wicklung reduzierte Sekundärspannung.

Nach der früheren Arbeit ist dann ferner

$$y_a = g_a - j\, b_a \tag{2}$$

die primäre Magnetisierungsadmittanz, wovon die Konduktanz g_a von den Verlusten im Eisen und die Susceptanz b_a von der Kraftlinienzahl im Eisen beziehungsweise von der Amperewindungszahl pro cm Kraftlinienlänge herrührt.

Ferner bedeutet

$$z_2' = r_2' + j\, x_2' \tag{3}$$

die auf das Primärsystem reduzierte Impedanz der Sekundärwicklung, wovon x'_2 die Reaktanz und r'_2 der ohmsche Widerstand der Sekundärwicklung auf das Primärsystem reduziert darstellt.

Im Gegensatz zur früheren Arbeit wählen wir hier die Abszissenachse des ersten Quadranten als negative imaginäre Achse und diejenige des vierten Quadranten als positive imaginäre Achse, sodass in Gleichung (2) — j und in Gleichung (3) + j auftritt, anstatt wie in der früheren Arbeit umgekehrt.

Der Faktor C_2 stellt dann schliesslich das Uebersetzungsverhältnis bei Kurzschluss und derselben Eisenbeanspruchung wie bei der betrachteten Belastung dar.

Vektoriell ist, wie bereits früher gezeigt wurde, dieser Faktor bestimmt durch die Beziehung

$$\boldsymbol{C}_2 = 1 + \boldsymbol{z}_2' \cdot \boldsymbol{y}_a \tag{4}$$

Gleichung (1) stellt in dieser Form das bekannte Stromdreieck dar, wobei jedoch $C_2 \cdot J'_2$ den reduzierten Sekundärstrom mit Berücksichtigung der Magnetisierungsverhältnisse und der Streuung zeigt und $V'_2 \cdot y_a$ denjenigen Teil des Magnetisierungsstromes, welcher durch die Sekundärspannung bedingt wird.

Wir können aber auch durch dieseibe Gleichung das bekannte Kapp'sche Stromdreieck zum Ausdruck bringen, indem wir Gleichung (1) durch Einsetzen von Gleichung (4) auflösen.

Unsere Stromwandlerhauptgleichung geht dann über in

$$J_1 = (1 + y_a \cdot z'_2)\, J'_2 + V'_2\, y_a = J'_2 + J'_2\, y_a \cdot z'_2 + V'_2\, y_a \tag{5}$$

Da nun aber $J'_2 \cdot Z'_2 = V'_{2\,v}$ nichts anderes als die Spannung zur Ueberwindung des ohmschen und induktiven Spannungsabfalles in der Sekundärwicklung darstellt, so ist schliesslich

$$J_1 = J'_2 + (V'_{2\,v} + V'_2)\, y_a \tag{6}$$

In dieser Gleichung bedeutet ferner $V'_{2\,v} + V'_2 = E'_2$ die auf das Primärsystem reduzierte elektromotorische Kraft der Sekundärwicklung, so dass im Stromdiagramm Fig. 3 dieser Vektor $E'_2 = y_a \cdot J_a$ den durch die Magnetisierung verursachten Magnetisierungsstrom darstellt.

Die Stromgleichung (6) geht daher über in die bekannte Form

$$\boldsymbol{J}_1 = \boldsymbol{J}_a + \boldsymbol{J}'_2 \tag{7}$$

die das Kappsche Stromdreieck zum Ausdruck bringt.

Es gelten daher hier genau dieselben Verhältnisse wie beim gewöhnlichen Transformator, jedoch mit dem einzigen Unterschied, dass beim Stromwandler die Eisenbean-

[1]) Siehe Theorie und Berechnung der Stromwandler, Bulletin 1913, Heft 11.

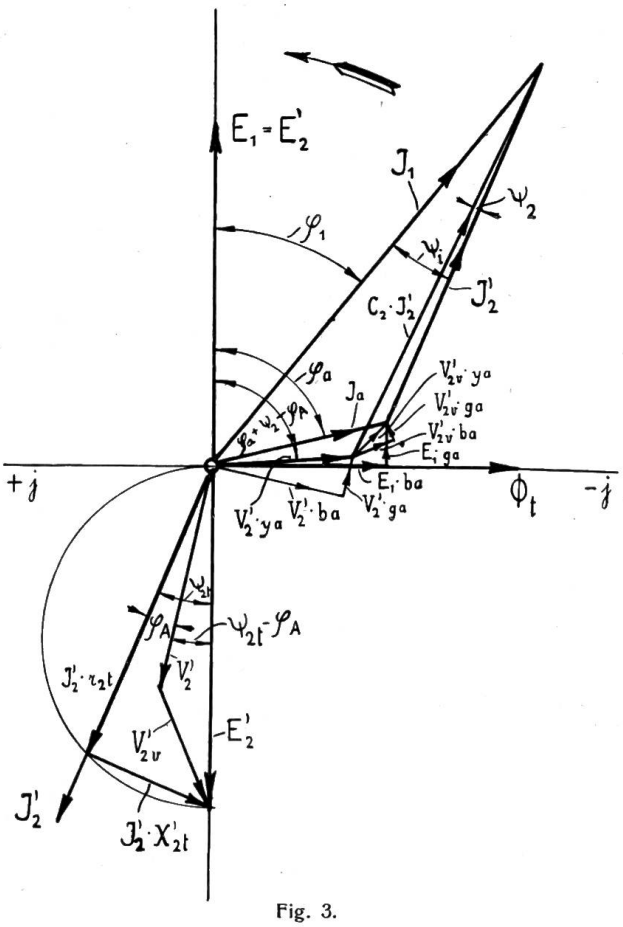

Fig. 3.
Stromwandlerdiagramm.

spruchung vom Primärstrom abhängig ist, also nicht konstant, sondern variabel ist.

Im Diagramm Fig. 3 sind alle diese Verhältnisse bei einer bestimmten Nennstromstärke dargestellt, aus diesem Diagramm geht ohne weiteres auch der Zusammenhang zwischen den Gleichungen (1), (6) und (7) hervor. Zum bessern Verständnis sind in diesem Diagramm alle Vektoren, die für einen Stromwandler in Frage kommen, eingezeichnet.

Wir kehren nun zu unserer Gleichung (1) zurück und betrachten in Abhängigkeit der Magnetisierung die beiden Stromkomponenten $C_2 \cdot J'_2$ und $V'_2 \cdot Y_a$.

Lassen wir zunächst den Primärstrom konstant und belasten den Stromwandler sukzessive vom Kurzschlusszustand bis zum völligen Oeffnen der Sekundärklemmen, so nimmt in unserer Stromgleichung (1) der Vektor $C_2 \cdot J'_2$ stetig ab, dagegen der Vektor $V'_2 \cdot y_a$ stetig zu.

Bei vollständig kurzgeschlossenen Sekundärklemmen ist daher $V'_2 \cdot y_a = 0$ und $C_2 \cdot J'_2$ ein Maximum. Bei offenen Sekundärklemmen dagegen wird $C_2 \cdot J'_2 = 0$ und $V'_2 \cdot y_a$ ein Maximum, nämlich gleich der in der Sekundärwicklung induzierten elektromotorischen Kraft E'_2.

Soll nun aber die Sekundärlast ein Maximum werden, so tritt dies offenbar dann ein, wenn in der Stromgleichung (1) diese beiden Stromkomponenten einander gleich sind, also wenn

$$C_2 \cdot J'_2 = V'_2 \cdot y_a \tag{8}$$

In diesem Falle wird daher derjenige Teil des Magnetisierungsstromes, welcher durch die Sekundärspannung bedingt ist, gleich gross wie der vollständig auf das Primärsystem reduzierte Sekundärstrom. Liessen wir die Komponente $V'_2\ Y_a$ noch mehr wachsen, so wird zwar die Sekundärspannung V'_2 grösser, dagegen nimmt dann sehr rapid der Sekundärstrom J'_2 ab. Drücken wir noch in Gleichung (8) die Sekundärspannung V'_2 durch den Sekundärstrom J'_2 und die Belastungsimpedanz z'_A aus, so ist

$$J'_2 \cdot z'_A = V'_2 \tag{9}$$

Damit ergeben sich daher für eine maximale Sekundärleistung die Beziehungen

$$\left.\begin{aligned} C_2 &= z'_A \cdot y_a \\ z'_A &= \frac{1}{y_a} + z'_2 \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

z'_A stellt dann diejenige sekundäre auf das Primärsystem reduzierte Belastungsimpedanz dar, bei welcher bei konstantem Primärstrom die maximale sekundäre Belastung eintritt.

Wie uns diese Beziehung lehrt ist die Grösse der maximalen Belastung, also auch der maximalen Belastungsimpedanz Z_A in der Hauptsache von der Höhe der Eisenbeanspruchung und von der Magnetisierung abhängig; denn durch dieselben wird allein die Admittanz y_a und damit auch der Faktor C_2 bestimmt.

Wir haben es daher bei einem Stromwandler in der Hand, durch eine zweckmässige Wahl der Eisenbeanspruchung beziehungsweise durch die Wahl der Wicklungsabmessungen, die Verhältnisse so zu gestalten, dass eben die grösstmögliche Sekundärleistung bei den kleinstmöglichen Fehlerverhältnissen eintreten.

Damit kennen wir nun die Bedingungen für die maximale Sekundärleistung, so dass wir durch Auswertung und Umrechnung dieser Beziehungen in reelle Grössen alle diejenigen Faktoren berechnen können, die für die ganze Nachrechnung eines Stromwandlers erforderlich sind.

Für praktische Zwecke ist jedoch diese symbolische Darstellung, wie Gleichung (1) bis (10) ausgedrückt sind, ungeeignet, da sie meist dem praktischen Techniker und Ingenieur nicht geläufig ist, so dass es notwendig wird, die erhaltenen Resultate in reellen Werten auszudrücken.

Wir drücken zuerst Gleichung (2) in reellen Werten aus und erhalten

$$\left.\begin{aligned} y_a &= \sqrt{g_a^2 + b_a^2} \\ tg\,\varphi_a &= \frac{b_a}{g_a} \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Hierin ist, wie in der früheren Arbeit gezeigt wurde,

$$\left.\begin{aligned} g_a &= \frac{\{l_{ei\,1} \cdot q_{ei\,1} w_{ei\,1} + l_{ei\,2} \cdot q_{ei\,2} \cdot w_{ei\,2} + \ldots\} \gamma_{ei} \cdot 10^{13}}{q^2_{ei\,k} \cdot w_1^2 (4{,}44 \cdot f \cdot B_{max})^2} \\ b_a &= \frac{l_{ei\,1} \cdot a w_{ei\,1} + l_{ei\,2} \cdot a w_{ei} + \ldots + 0{,}8 \cdot \alpha_s \cdot \delta_i \cdot \frac{\Phi_{max}}{q_s}}{\sqrt{2} \cdot w_1^2 \cdot q_{ei\,k} \cdot 4{,}44 \cdot f \cdot B_{max}} 10^8 \end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

w_{ei} und aw_{ei} sind die Eisenverluste pro kg Eisen beziehungsweise Amperewindungszahlen pro cm Kraftlinienlänge im Eisen 1_{ei} beziehungsweise 1_{ei1}, 1_{ei2}, 1_{ei3}. . . die mittleren Kraftlinienlängen im Eisen des ganzen Eisenkörpers oder der einzelnen Stücke mit den Querschnitten $q_{ei\,k}$, q_{ei}, q_{ei}, q_s, . . ., α_s die Stossfugenzahl, δ_i die Stärke des Luftzwischenraumes einer Stossfuge einschliesslich Papierisolation der Bleche, w_1 primäre Windungszahl, f Frequenz und B_{max} Amplitude der Eisenbeanspruchung.

Aus dem ohmschen Widerstand der Sekundärwicklung r'_2 und aus ihrer Reaktanz x'_2 ergibt sich ferner für den Faktor C_2 die Beziehung

$$\left.\begin{aligned} &C_2 = \sqrt{[1 + r'_2 \cdot g_a + x'_2 \cdot b_a]^2 + [r'_2 \cdot b_a - x'_2 \cdot g_a]^2} \\ &\text{und der Winkel} \\ &tg \cdot \Psi_2 = -\frac{r'_2\, b_a - x'_2 \cdot g_a}{1 + r'_2\, g_a + x'_2 \cdot b_a} \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

Dieser Faktor C_2 stellt auch den Uebersetzungsfaktor des Stromwandlers bei kurzgeschlossenen Sekundärklemmen und Ψ_2 die Winkelabweichung bei der betrachteten Eisenbeanspruchung dar. Dieser Winkel Ψ_2 ist nur dann positiv, wenn $x'_2 \cdot g_a > r'_2 \cdot b_a$ wird.

Zur Auswertung unserer Stromwandlerhauptgleichung (1) legen wir zuerst aus unserem Diagramm Fig. 3 die Winkel fest, welche die beiden Stromkomponenten $C_2 J'_2$ und $V'_2 y_a$ miteinander einschliessen. Die erste Komponente schliesst mit der Ordinatenachse den Winkel $\Psi_{2t} - \Psi_2$ ein und die zweite Komponente den Winkel $\varphi_a + \Psi_{2t} - \varphi_A$, so dass sich schliesslich zwischen beiden der Winkel ergibt

$$\gamma = \varphi_a - \varphi_A + \Psi_2 \qquad (14)$$

Gleichung (1) geht damit in die Form über

$$J_1^2 = C_2^2 \cdot J'^2_2 + V'^2_2 \cdot y_a^2 + 2 \cdot C_2 \cdot J'_2 \cdot V'_2 \cdot y_a \cdot \cos(\varphi_a - \varphi_A + \Psi_2) \qquad (15)$$

womit wir eine Beziehung erhalten, aus welcher wir die in Fig. 1 dargestellte Belastungscharakteristik berechnen können. Zu diesem Zwecke müssen wir nur für eine bestimmte

primäre Stromstärke und die entsprechend angenommenen Werte der sekundären Stromstärke zuerst die zugehörigen Werte der Eisenbeanspruchung, der Belastungsimpedanz und der Sekundärspannung berechnen. Die Werte von C_2 und y_a dagegen können wir für eine festgelegte Type ein für alle Male als Funktion von B_{max} berechnen und graphisch auftragen, ohne Rücksicht auf die Grösse der Belastung, da hierfür nur die Eisen- und Wicklungsabmessungen, sowie die Eisenqualität massgebend ist.

Noch etwas einfacher gestaltet sich die Rechnung, wenn wir in Gleichung (15) $V'_2 = J'_2 \cdot z'_A$ setzen und dann nur für verschiedene Werte von z'_A und den zugehörigen Werten der Eisenbeanspruchung den absoluten Uebersetzungsfaktor berechnen.

In diesem Falle ist für diesen Uebersetzungsfaktor

$$p_i = \frac{J_1}{J'_2} = \sqrt{C_2^2 + Z'^2_A \cdot y_a^2 + 2 \cdot C_2 \cdot Z'_A \cdot y_a \cos(\varphi_a - \varphi_A + \Psi_2)} \tag{16}$$

Dieser Ausdruck muss natürlich gleichwertig sein mit dem bereits früher abgeleiteten Ausdruck, wenn wir an Stelle von C_2 und y_a die Werte der Gleichung (11) bis (13) einsetzen, nämlich:

$$p_i = \frac{J_1}{J'_2} = \sqrt{[1 + r'_{2t} \cdot g_a + x'_{2t} \cdot b_a]^2 + [r'_{2t} \cdot b_a - x'_{2t} \cdot g_a]^2} \tag{17}$$

Wollen wir nun aus Gleichung (15) ebenfalls die Bedingung für maximale Sekundärleistung ableiten, so muss nach Gleichung (8) wiederum gelten

$$C_2 J'_2 = V'_2 y_a$$

Hieraus erhalten wir schliesslich aus Gleichung (10)

$$C_2 = Z'_A \cdot y_a$$

$$Z'_A = \frac{C_2}{y_a} = \sqrt{\frac{(1 + r'_2 g_a + x'_2 b_a)^2 + (r'_2 b_a - x'_2 g_a)^2}{g^2_a + b^2_a}} \tag{18}$$

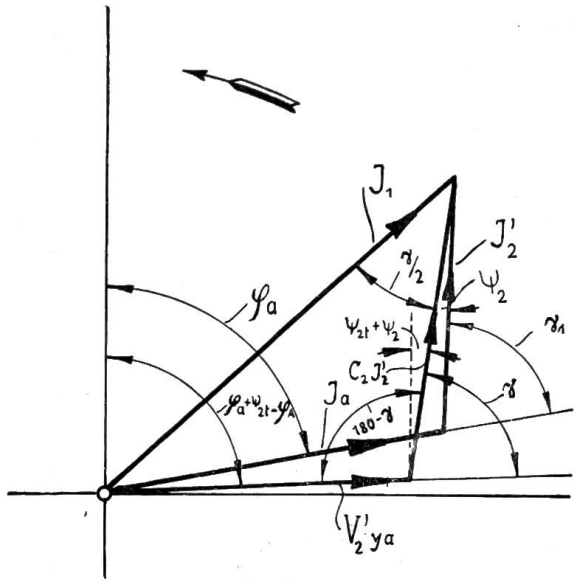

Fig. 4.
Diagramm der Ströme bei sekundärer Maximallast.

Berechnen wir daher für eine gegebene Stromwandlertype ein für alle Male C_2 und y_a als Funktion der Eisenbeanspruchung und tragen diese Werte graphisch auf, so können wir damit sofort aus Gleichung (18) für alle vorkommenden Uebersetzungsverhältnisse die zugehörige Belastungimpedanz Z'_A für maximale Sekundärleistung bestimmen.

Wir können uns daher ohne weiteres über diese so wichtige Frage der maximalen Belastbarkeit eines Stromwandlers Rechenschaft geben und nachrechnen, ob nun wirklich mit der entworfenen Type den gesetzlichen Bestimmungen entsprochen werden kann.

Für eine maximale Sekundärleistung ist aber nicht nur die Kenntnis der zugehörigen Belastungsimpedanz wichtig, sondern vielmehr das zugehörige Uebersetzungsverhältnis, die Winkelabweichung und vor allen Dingen die Grösse der Sekundärlast selbst.

Zu diesem Zwecke setzen wir zunächst aus Gleichung (18) den Wert für z_A in Gleichung (16) ein, so geht diese über in die Form (19)

$$p_i = \frac{J_1}{J'_2} = Z'_A \cdot y_a \sqrt{2\{1 + \cos(\varphi_a + \Psi_2 - \varphi_A)\}} = 2 \cdot Z'_A \cdot y_a \cdot \cos\frac{\varphi_a + \Psi_2 - \varphi_a}{2}$$

In unserem Diagramm für maximale Sekundärleistung, Fig. 4, muss dann der Winkel zwischen J_1 und $C_2 J'_2$ gleich sein dem Winkel zwischen J_1 und $V'_2 y_a$ und anderseits auch gleich dem Winkel $\gamma/_2$, da ja für maximale Sekundärleistung $C_2 J'_2 = V'_2 y_a$ sein muss, also

$$\gamma/_2 = \frac{1}{2}\{\varphi_a + \Psi_2 - \varphi_A\} \tag{20}$$

In diesem Fall ist auch der Verschiebungswinkel zwischen J_1 und J'_2 gegeben durch

$$\Psi_{i\,VA\,max} = -\frac{1}{2}\left\{\varphi_a + \Psi_2 - \varphi_A\right\} + \Psi_2 = \frac{1}{2}\left\{\varphi_A - \varphi_a + \Psi_2\right\} \tag{21}$$

Wie uns diese Beziehungen (19) und (21) zeigen, spielen hier die Eisenbeanspruchung B_{max} und die zugehörigen Winkel $\varphi_a + \Psi_2 - \varphi_A$, sowie der Phasenwinkel φ_A im äusseren Sekundärkreis die ausschlaggebende Rolle, so dass wir es durch eine zweckmässige Wahl der Wicklungsabmessungen in der Hand haben, die Verhältnisse in relativ weiten Grenzen zu verändern.

Zum Schluss können wir nun auch hieraus noch die maximale Sekundärleistung ermitteln. Diese ist bestimmt durch den Ausdruck

$$VA_{2\,max} = V_2 \cdot J_2 = J_2^2 \cdot Z_A = \frac{J_1^2}{2\,C_2 \cdot y_a\,[1 + \cos(\varphi_a + \Psi_2 - \varphi_A)]} \tag{22}$$

Hier gehört natürlich zu jedem Wert von J_1 bei maximaler Sekundärleistung ein ganz bestimmter Wert von B_{max} und damit von C_2 und y_a, trotzdem können wir aber mit dem letzten Teil des Ausdruckes zeigen, wie sich die Maximalleistung ändert, wenn wir durch irgend ein Mittel die Eisenbeanspruchung verändern. Dies ist um so wertvoller, als wir damit auch untersuchen können, in welcher Richtung wir irgend eine Aenderung vornehmen müssen, um ein gewünschtes Resultat zu erreichen.

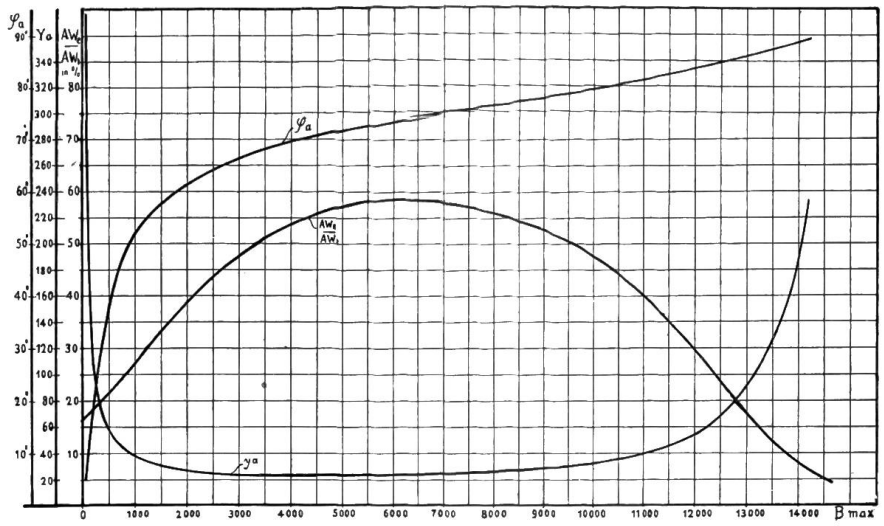

Fig. 5.
Charakteristische Kurven des magnetischen Kreislaufes eines Stromwandlers als Funktion der Eisenbeanspruchung.

Mit diesen Beziehungen kennen wir nun alle Grössen, die für die Beurteilung eines Stromwandlers erforderlich sind und wollen nun noch kurz ihre sinngemässe Anwendung an einem Beispiel kennen lernen.

Als Beispiel wählen wir einen Stromwandler für 100/5 Ampere mit den Windungszahlen 4/78 Windungen. Es betrifft dies ein Stromwandler, der wegen seinen grossen Fehlern den gesetzlichen Vorschriften nicht entspricht und deshalb ganz besonders wertvollen Aufschluss für die Dimensionierung gibt.

Die äusseren Dimensionen des Eisenkörpers, der Wicklungen und der Isolierung lassen wir der Einfachheit halber weg und beschränken uns lediglich nur auf die wichtigsten Resultate der Nachrechnung und Untersuchung.

Wie uns die abgeleiteten Beziehungen zeigen, ist in erster Linie die Kenntnis der Admittanz y_a und ihres zugehörigen Winkels φ_a erforderlich. Diese Werte sind in Fig. 5 als Funktion der Eisenbeanspruchung aufgetragen. Da die Verhältnisse bei diesem Stromwandler recht abnormale sind, wurde in derselben Fig. 5 auch das Verhältnis der Luftamperewindungen AW_1 zu denjenigen der gesamten wattlosen Amperewindungen AW_{twl} in Prozenten aufgetragen, da gerade bei diesem Stromwandler wohl die Luftamperewindungen den Hauptanteil der Fehler verursachen.

Der Eisenkörper war hierbei aus vorzüglichem, legiertem Transformatorenblech hergestellt, um möglichst kleine Fehler zu erhalten, jedoch wird hierbei das Resultat durch den ausserordentlich hohen Betrag der Luftamperewindungen von im Maximum 55 % ganz wesentlich verschlechtert. Diese Kurven zeigen deshalb gerade, wie notwendig es ist, das Hauptaugenmerk auf diese Stossfugen zu richten. Es hat nämlich gar keinen Sinn, erstklassige Transformatorenbleche für den Bau solcher Stromwandler zu verwenden, wenn dabei die Stossfugen mit ihren unheilvollen Wirkungen ausser Acht gelassen werden.

Hier liegt auch der Grund, warum so viele Werke mit ihrer Stromwandlerfabrikation nicht auf einen grünen Zweig gelangen können, weil eben der *Stossfugeneinfluss stets als zu klein in der Regel vernachlässigt wird.* In Wirklichkeit ist aber dieser Einfluss gar nicht vernachlässigbar, weil dadurch in erster Linie die Belastbarkeit stark in Mitleidenschaft gezogen wird; denn je mehr Amperewindungen wir für die Stossfugen aufwenden müssen, desto grösser müssen die Abweichungen der Sekundärgrössen gegenüber den Primärgrössen sein und um so kleiner muss die sekundäre Belastbarkeit werden. Es ist ja schon richtig, dass gerade dieses Stossfugenproblem die Fabrikation ausserordentlich erschwert; aber es gibt hier genug Mittel, um praktisch diesen Einfluss zu reduzieren oder ihn sogar fast vollständig zu eliminieren.

Vollständig stossfugenlose Eisenkörper schalten diesen Einfluss ganz aus, erschweren jedoch die Fabrikation bis fast zur Unmöglickkeit, namentlich wenn es sich um grössere Stromwandlertypen handelt. Es gibt jedoch noch andere Mittel, z. B. die Reduktion der Stossfugenzahl auf ein Minimum und schliesslich die künstliche Durchbildung der Stossfugen, wie dies Gegenstand eines Patentes des Verfassers bildet, durch welche der Stossfugeneinfluss auf nur wenige Prozente herabgedrückt werden kann.

Wie Fig. 5 ferner zeigt, wird der Phasenwinkel φ_a des Magnetisierungsstromes gegenüber der *EMK* E_1 schon bei verhältnismässig kleinen Eisenbeanspruchungen sehr gross, was namentlich auch eine Folge der ausserordentlich grossen Stossfugenamperewindungszahl ist.

Ferner ist ebenfalls das sehr rapide Ansteigen von y_a bei sehr kleinen Werten der Eisenbeanspruchung eine Folge der grossen Stossfugenamperewindungszahl und bewirkt in erster Linie ein sehr starkes Ansteigen der Fehlerkurve mit fallender Eisenbeanspruchung.

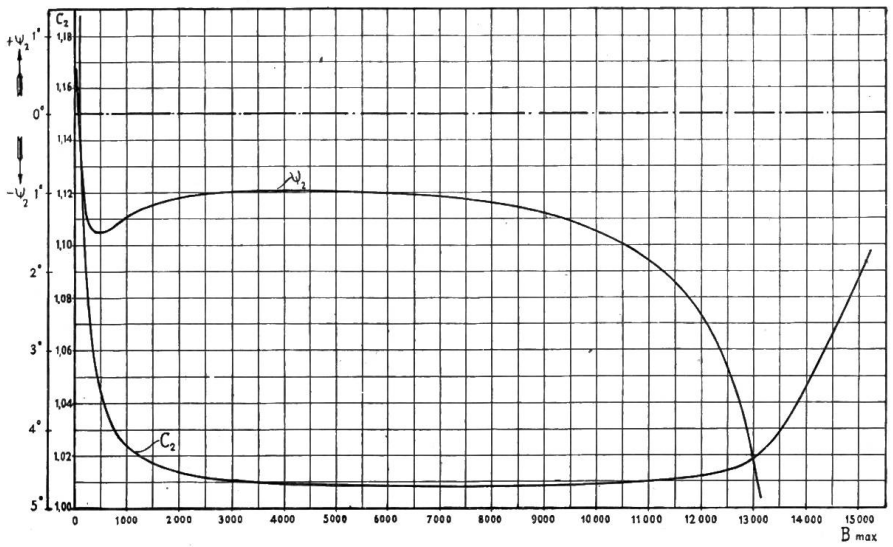

Fig. 6.
Uebersetzungsfaktor C_2 und Winkelabweichung ψ_2 bei vollständig kurzgeschlossenen Sekundärklemmen.

Wir betrachten nun ferner das Verhalten des Stromwandlers bei vollständig kurz geschlossenen Sekundärklemmen, worüber uns Gleichung (13) Aufschluss gibt.

In Fig. 6 ist der Faktor C_2 und der Verschiebungswinkel Ψ_2 als Funktion der Eisenbeanspruchung dargestellt. Diese Grössen stellen auch das Uebersetzungsverhältnis und die Winkelabweichung des Stromwandlers dar, wenn derselbe kurzgeschlossen ist.

Wie diese Kurven zeigen, treten gerade bei jenen Induktionen, die den normalen Strömen entsprechen und für welche der Stromwandler gebaut ist, die grössten Abweichungen auf. Selbst ohne äussere Sekundärleistung sind die Fehler schon bedeutend grösser als dies die gesetzlichen Vorschriften verlangen, so dass bei Belastung unzulässige Fehler entstehen müssen.

Eigentümlich ist der Verlauf der Kurve der Winkelabweichung Ψ_2, die für ganz kleine Induktionen auf der positiven und bei allen übrigen Werten stets auf der negativen Seite der Abszissenachse verläuft. Der Grund, warum dieser Phasenwinkel zur Hauptsache negativ ist, liegt in der sehr kleinen Reaktanz der Sekundärwicklung. Aber auch die Stossfugenamperewindungen haben einen grossen Einfluss hierauf, da nach früherem dieser Winkel nur dann positiv ist, wenn $x'_2 g_a > r'_2 b_a$ wird. Um positive Fehlwinkel zu erhalten, muss x'_2 um so grösser sein, je grösser b_a ist, d. h. je grösser die Stossfugenamperewindungen sind.

Bei Belastung des Stromwandlers wird natürlich dieses Resultat dahin geändert, dass auch die Grösse der Sekundärlast und vor allen Dingen der Leistungsfaktor im Sekundärkreis entscheidend einwirkt.

Wie nicht anders zu erwarten ist, zeigt auch der Faktor C_2 mit fallender Induktion ein ausserordentlich starkes Ansteigen, wie dies übrigens auch bei der Admittanz y_a der Fall war.

Die Kurve von C_2 zeigt uns ferner, dass bei sehr grossen Werten der Eiseninduktion wiederum ein starkes Ansteigen eintritt, weil dann oberhalb dem Knie der Magnetisierungskurve die Eisenamperewindungen rapid zunehmen.

Da bei diesem Stromwandler im vollständigen Kurzschlusszustande die Eisenbeanspruchung sehr klein ist und kaum 1000 Kraftlinien/cm² beträgt, also hier gerade derjenige Ast der C_2-Kurve in Frage kommt, welcher mit der Eisenbeanspruchung sehr starken Veränderungen unterworfen ist, so können wir bereits ohne die andern Untersuchungsresultate in Betracht zu ziehen, sagen, dass dieser Stromwandler unter keinen Umständen die System- und Beglaubigungsprüfung bestehen würde.

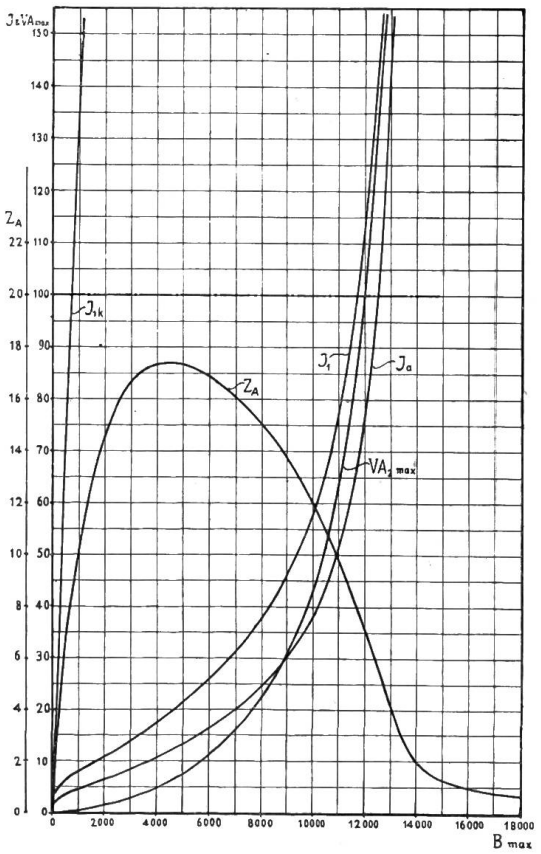

Fig. 7.
Strom- u. Belastungsverhältnisse bei kurzgeschlossenen Sekundärklemmen und induktionsfreier Sekundärlast als Funktion der Eisenbeanspruchung.

Die beiden Kurven der Fig. 7 sind daher ausserordentlich wichtig für die Beurteilung eines Stromwandlers.

In Fig. 7 sind ferner die Stromverhältnisse und die maximalen Leistungsverhältnisse dieses Stromwandlers dargestellt.

Zunächst zeigen die Kurven von J_1 und J_a den gesamten primären Strom und den Magnetisierungsstrom als Funktion der Eisenbeanspruchung B_{max} bei maximaler Sekundärleistung.

Wie aus den Kurven ersichtlich, macht der Magnetisierungsstrom bereits einen beträchtlichen Teil des Primärstromes bei maximaler Sekundärleistung aus und es erreicht dieser Stromwandler bei der primären Nennstromstärke von 100 Ampere schon eine Eisenbeanspruchung von nahezu 12 000 Kraftlinien/cm², was im Hinblick auf eine möglichst verzerrungsfreie Kurvenform des sekundären Wechselstromes viel zu hoch erscheint.

Wie nun die Kurve der Belastungsimpedanz Z_A zeigt, tritt hier die grösste Belastungsimpedanz bei etwa 4500 Kraftlinien/cm² auf und darf deshalb, wenn der Stromwandler richtig dimensioniert ist, mit der Beanspruchung bei Nennstromstärke und grösster Sekundärlast nicht über diesen Wert hinaus gegangen werden.

Das Maximum von z_A sollte unter allen Umständen erst bei grösseren Stromstärken als die Nennstromstärke auftreten, da nur dann eine sichere Gewähr besteht, dass sich die auftretenden Fehler noch in zulässigen Grenzen bewegen.

Betrachten wir nun auch die Kurve der sekundären Maximallast selbst, so zeigt diese, dass der Stromwandler bei Nennstrom von 100 Ampere eine Maximallast von etwa 87 Volt-

ampere aufweist, also der Anforderung von minimal 10 Voltampere genügen würde. Dies ist jedoch nur scheinbar der Fall; denn in Wirklichkeit soll die Eisenbeanspruchung nicht über etwa 4500 Kraftlinien/cm² hinausgehen, und bei dieser Beanspruchung beträgt die Maximalleistung nur knapp 6 Voltampere, so dass damit auch dieser Anforderung nicht Genüge geleistet werden kann.

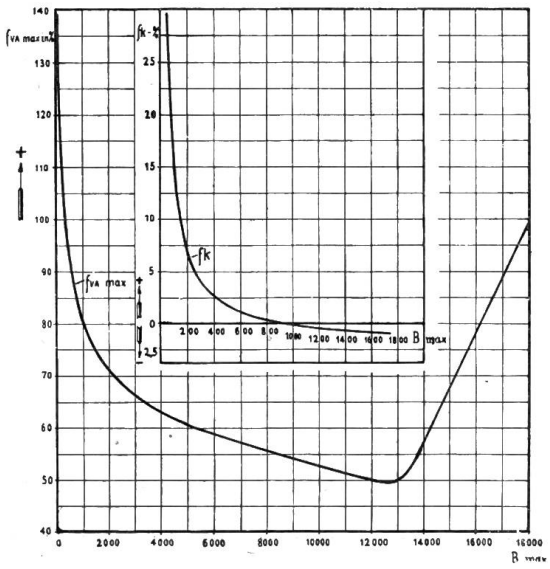

Fig. 8.
Uebersetzungsfehlerkurven bei maximaler Sekundärlast und bei Kurzschluss als Funktion der Eisenbeanspruchung.

Um auch in diesen Kurven erkennen zu können, in welchen Grenzen sich zwischen Kurzschluss und Maximallast die Eisenbeanspruchung bewegt, ist in Fig. 7 auch der primäre Kurzschlussstrom eingetragen. Von Null bis Maximallast verändert sich die Induktion von etwa 700 bis 12 000 Kraftlinien/cm², was auf jeden Fall für einen solchen Stromwandler mit den verhältnismässig hohen Anforderungen, wie sie das Gesetz vorschreibt, nicht mehr zulässig erscheint, besonders, da hierbei auch noch das Knie der Magnetisierungskurve überschritten wird.

Gerade aus diesen Kurven erhalten wir deshalb wohl die zweckmässigste Uebersicht über die Arbeitsweise eines Stromwandlers, da diese uns Aufschluss über die Beanspruchungsverhältnisse geben, aus welchen ohne weiteres der Einfluss auf die Fehlerverhäitnisse festgestellt werden kann.

Von ausserordentlich grosser Bedeutung ist in erster Linie die Kurve der sekundären Belastungsimpedanz, da diese uns zeigt, ob wir bereits innerhalb des Arbeitsbereiches des Stromwandlers die höchst zulässige Eisenbeanspruchung überschritten haben oder nicht.

Für die Beurteilung unseres Stromwandlers ist ferner die Grösse des Fehlers im Uebersetzungsverhältnis wichtig.

Zu diesem Zwecke ermitteln wir nach Gleichung (13) und (19) die Grösse des absoluten Uebersetzungsfaktors p_i sowohl bei vollständigem Kurzschluss, als auch bei maximaler Seukndärleistung.

Ist dann ferner p_{is} das Soll-Ubersetzungsverhältnis des Stromwandlers, so ist schliesslich der Fehler bestimmt durch

$$f = \frac{p_i - p_{is}}{p_{is}} \cdot 100 \; in \; \% \qquad (23)$$

Nach dieser Beziehung sind nun in Fig. 8 die Fehler bei Kurzschluss und bei Maximallast berechnet worden.

Infolge der grossen Unterschiede in der Eisenbeanspruchung bei Kurzschluss und bei Maximallast mussten beide Fehlerkurven in verschiedenem Massstabe aufgetragen werden.

Die Fehler sind bei Kurzschluss schon bereits so gross, dass dieser Stromwandler der Systemprüfung nicht genügen würde.

Eigentümlich ist der Verlauf der Fehlerkurve bei ganz hohen Eisenbeanspruchungen, wo die Fehlerkurve wieder nach auswärts biegt, da dann die Eisenamperewindungen wieder sehr stark zunehmen.

Wenn nun die Beglaubigungsvorschriften durch diesen Stromwandler erfüllt werden sollten, so müsste dis Fehlerkurve bei Kurzschluss zwischen 10 und 100 % des Nennstromes nirgends einen Fehler über 1 % aufweisen, und zwar müsste die Fehlerkurve zur Hauptsache negativ verlaufen, da durch die sekundäre Belastung der Fehler nach der positiven Richtung zustrebt und dann sehr leicht zu grosse Dimensionen annehmen kann, wie gerade die Fehlerkurve bei maximaler Sekundärlast zeigt.

Zum Schlusse interessiert uns nun noch die Grösse der Winkelabweichung. In Fig. 9 ist dieser Fehlwinkel zwischen dem Primär- und Sekundärstrom für maximale Sekundärlast und die Phasenwinkel $\varphi_A = 0^0$. $\varphi_A = 30^0$ und $\varphi_A = 60^0$ als Funktion der Eisenbeanspruchung dargestellt.

Wie diese Kurven zeigen, nimmt dieser Fehlwinkel ganz gewaltige Dimensionen an und verläuft bei grossem sekundärem Leistungsfaktor in der Hauptsache auf der negativen und bei sehr kleinem Leistungsfaktor auf der positiven Seite.

Vergleichen wir diese Kurven mit derjenigen bei Kurzschluss, so ergibt sich, dass hinsichtlich der Grösse der Winkelabweichung dieser Stromwandler auch bei keiner Belastung der gesetzlichen Vorschrift nicht genügen kann, da die Fehlwinkel grösser als 1^0 sind.

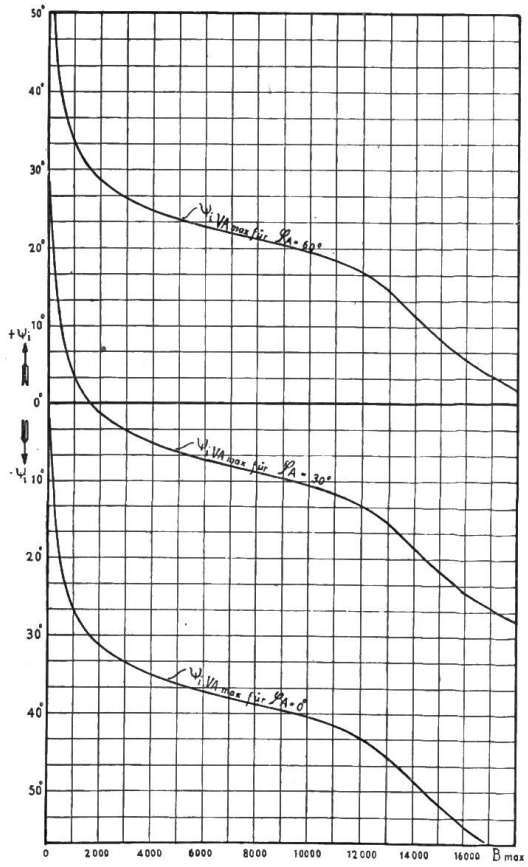

Fig. 9.
Winkelabweichung bei maximaler Sekundärlast als Funktion der Eisenbeanspruchung.

Wenn wir nun alle diese Kurven und die abgeleiteten Beziehungen, aus welchen sie entstanden sind, etwas näher betrachten und uns darüber Rechenschaft geben, wie wir nun aus dieser Fehlkonstruktion ein den gesetzlichen Bestimmungen vollständig Genüge leistendes Modell entwerfen können, so ergibt sich zunächst, dass wir unter allen Umständen einmal die Stossfugenamperewindungen reduzieren müssen. Dies geht ja schon ohne jeden Zweifel aus den Kurven der Fig. 5 hervor; denn allein beinahe 60 % nur für die Stossfugenamperewindungen aufzuwenden, heisst sicher eine Verschwendung.

Mit dieser Massnahme allein wird jedoch kaum eine vollständige Besserung möglich sein und wir werden uns fragen müssen, wo wir weiter einzugreifen haben, um dieses Ziel zu erreichen.

Zunächst könnten wir natürlich an eine Erhöhung der gesamten Amperewindungszahl denken; denn hiermit ist sicher eine Besserung oder sogar die vollständige Behebung der Fehler zu erreichen. Dem steht jedoch fast wie eine unüberbrückbare Kluft die Kostenfrage gegenüber, die dem Konstrukteur auch diese letzte Hoffnung illusorisch macht. Hier beginnen also, wie im gewöhnlichen Transformatorenbau, die Schwierigkeiten der Kostenfrage mit der Qualität des Erzeugnisses abzuwechseln, so dass wir auch hier nach Schwierigkeits- und Fortschrittskurven rechnen müssen, wie dies Vidmar auf so scharfsinnige und glänzende Weise für den allgemeinen Transformatorenbau angegeben hat.[1]) Nur wenige zehntelprozent grössere Genauigkeit können eben hier unter Umständen eine so gewaltige Preissteigerung hervorrufen, dass der Konstrukteur sich in die Unmöglichkeit versetzt sieht, seine Erzeugnisse abzusetzen.

Es gibt daher hier kein anderes Mittel zum Ziele zu gelangen, als eben alle Dimensionen gleichzeitig so zu ändern, dass wirklich ein Fortschritt möglich wird. Vor allen Dingen ist es auch gar nicht gesagt, dass wir nur allein die Wicklungen ändern müssen; denn ebenso leicht können wir auch die Eisendimensionen sogar mit viel besserem Erfolge ändern.

Hier zeigen uns auch die Kurven der Fig, 6 mit grosser Deutlichkeit, dass durch eine zweckmässige Aenderung der Eisendimensionen noch ausserordentlich viel zu erreichen ist.

Wir können auch hier den verschiedenen Stücken des Eisenkörpers verschiedene Querschnitte geben und damit in sehr weiten Grenzen die Fehlerkurve beeinflussen, wie dies übrigens auch bereits im allgemeinen Transformatorenbau üblich ist.

---

[1]) Vidmar, Moderne Transformatorenfragen, Sammlung Vieweg, Heft 30.

Allerdings werden sich die Gesichtspunkte hier gerade in entgegengesetzter Richtung bewegen, da beim Stromwandler viel Streuung auf der Sekundärseite nützlich, beim allgemeinen Transformator dagegen sehr schädlich ist.

In überaus klarer Weise sind alle diese Verhältnisse experimentell bestätigt worden durch die Arbeit von Harned [1]), die auch über manche unklare Verhältnisse Aufschluss gibt.

Damit sind nun im wesentlichen bis auf die Verhältnisse der Kurvenformen der Ströme alle Erscheinungen abgeklärt, die für die Dimensionierung eines Stromwandlers nach den gesetzlichen Bestimmungen erforderlich sind.

Miscellanea.

Inbetriebsetzung von schweizerischen Starkstromanlagen. (Mitgeteilt vom Starkstrominspektorat des S. E. V.) In der Zeit vom 20. November bis 20. Dezember 1918 sind dem Starkstrominspektorat folgende wichtigere Anlagen als betriebsbereit gemeldet worden:

Hochspannungsfreileitungen.

Aargauisches Elektrizitätswerk, Aarau. Leitung nach Au bei Wildegg. Drehstrom, 8000 Volt, 50 Perioden.

Elektrizitätswerk des Kantons Thurgau, Arbon. Leitung nach Reutershaus-Moorwilen (Gemeinde Herdern, Bezirk Steckborn). Drehstrom, 8000 Volt, 50 Perioden.

Bernische Kraftwerke A.-G., Bern. Leitung bis zur Gemeindegrenze Landiswil (Bezirk Konolfingen). Drehstrom, 16000 Volt, 40 Perioden.

Società Elettrica delle Tre Valli S. A., Bodio. Linea ad alta tensione Piotta-Sanatorio ed alla stazione trasformatrice di Osogna. Corrente trifase, 8000 volt, 50 periodi.

Entreprises Electriques Fribourgoises, Châtel-St. Denis. Lignes à haute tension du Reposoir à Châtillon (Commune de Jogny). Courant triphasé, 4000 volts, 50 périodes, et à la station transformatrice sur poteaux à „La Fabrique de Chaux et de Ciment" Châtel-St. Denise. Courant triphasé, 4400 volts, 50 périodes.

Elektrizitätskommission, Landiswil. Leitung zur Stangen-Transformatorenstation Landiswil, Drehstrom, 16000 Volt, 50 Perioden.

Kraftwerk Laufenburg. Leitung von Laufenburg nach Rheinsulz. Drehstrom, 6000 Volt, 50 Per.

Elektrische Licht-, Kraft- und Wasseranlage der Einwohnergemeinde Lyss. Leitung zur Stangen-Transformatorenstation Siechenbach-Leimern (Gemeinde Lyss). Einphasenstrom, 8000 Volt, 40 Perioden.

Officina Elettrica comunale, Lugano. Leitungen zu den Transformatorenstationen im Quartier Castausio & Casserina-Casserinetta, Lugano. Drehstrom, 3600 Volt, 50 Perioden.

Elektrizitätswerk der Gemeinde Mollis. Leitungen von der Zentrale Beglingen bis zur Stangen-Transformatorenstation im Gäsi und zur Gittermasten-Transformatorenstation im Ried. Drehstrohm, 8000 Volt, 50 Perioden.

Bernische Kraftwerke A.-G., Betriebsleitung Pruntrut. Leitung zum Weiler Chervillers (Gemeinde Epiquerez). Einphasenstrom, 8500 Volt, 50 Perioden.

Entreprises électriques fribourgeoises, Romont. Ligne à haute tension provisoire à Château d'Eau Broc (Jogne). Courant triphasé, 8000 volts, 50 périodes.

Services Industriels de la Commune de Sion. Lignes à haute tension pour les Mines de Bramois et à Chandoline. Courant triphasé, 8000 volts, 50 périodes.

Bernische Kraftwerke A.-G., Betriebsleitung Spiez. Leitung nach Homberg-Teuffenthal (Bezirk Thun). Einphasenstrom, 4000 Volt, 40 Perioden. Provisorische Leitung zur Transformatorenstation beim Ueberführungsäquadukt des Simmenwassers über die Kander im Eigand, Spiez. Drehstrom, 4000 Volt, 40 Perioden.

St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke A.-G., St. Gallen. Leitung zur Stangen-Transformatorenstation im Grossfeld, Ragaz. Drehstrom, 10000 Volt, 50 Perioden.

Genossenschaftliches Lichtwerk, Thalgraben. Leitung nach Thal. Drehstrom, 16000 Volt, 40 Per.

Aktiengesellschaft Wasserwerke, Zug. Leitung zur Transformatorenstation in Edlibach bei Menzingen. Drehstrom, 8000 Volt, 50 Perioden.

Elektrizitätswerke des Kantons Zürich. Leitung nach Oetwil a. d. Limmat (Wettstein). Drehstrom, 5000 Volt, 50 Perioden. Leitung nach Beichlen-Richterswil. Zweiphasenstrom, 5000 Volt, 42 Perioden.

Elektrizitätswerk der Stadt Zürich. Leitungen nach Conters, Reams, Präsanz, Salux, Mons und von Tiefencastel nach Savognin (Oberhalbstein. Drehstrom, 6000 Volt, 50 Perioden.

Schalt- und Transformatorenstationen.

Aargauisches Elektrizitätswerk, Aarau. Stangen-Station in der Au bei Wildegg.

[1]) Harned, Operating Characteristics of Current Transformers Electrical World Bd. 67, S. 869, 1916