

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 31 (1940)  
**Heft:** 4  
  
**Artikel:** Induktionsschmelzofen für Aluminium und seine Legierungen  
**Autor:** Kern-Zindel, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061351>

### **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:** 17.05.2025

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

*Pertes totales mesurées par les méthodes «directe» et «indirecte» dans un transformateur à trois enroulements fortement déséquilibrés.*

Tableau II.

| $P_I$<br>kVA | $P_{II}$<br>kVA | $P_{III}$<br>kVA | Pertes<br>oh-<br>miques | Pertes totales<br>de la méthode<br>directe | Pertes totales<br>de la méthode<br>in-<br>directe | Ecart en %<br>sur les pertes<br>supplémentaires |
|--------------|-----------------|------------------|-------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 136,8        | 1100            | 1092             | 100                     | 129,1                                      | 135,9                                             | + 23,3                                          |
| 190,0        | 1096            | 1100             | 100                     | 125,3                                      | 142,7                                             | + 68,3                                          |
| 1100         | 1100            | 1100             | 100                     | 413                                        | 367                                               | — 14,7                                          |
| 692          | 416             | 1100             | 100                     | 264                                        | 217                                               | — 28,6                                          |
| 384          | 1100            | 1100             | 100                     | 196,2                                      | 189                                               | — 7,5                                           |

La dernière colonne fait particulièrement bien ressortir, si on la compare à la colonne correspondante du tableau I, combien les erreurs de la méthode «indirecte» peuvent devenir importantes dès que les lignes du champ de fuite ne sont plus rigoureusement parallèles à l'axe. Ainsi les conclusions de la théorie se trouvent-elles pleinement vérifiées par l'expérience.

### VIII.

#### Prescriptions CEI sur les pertes supplémentaires dans les transformateurs à trois enroulements.

Le fait que les transformateurs à trois et même plus de trois enroulements se sont toujours plus répandus pour l'accouplement simultané de plusieurs réseaux, justifie sans aucun doute la tendance actuelle d'éditer des prescriptions internationales pour le contrôle des pertes de ce genre de transformateurs.

La méthode «indirecte» classique préconisée par les Américains présente l'avantage d'être extrêmement simple et de n'exiger que des mesures identiques à celles qui sont en usage pour les transfor-

mateurs à deux enroulements. Par contre, il ressort de la présente étude qu'elle ne repose pas sur une base scientifique à l'abri de toute discussion. Elle n'est rigoureuse que dans un cas tout à fait idéal, dont la pratique peut éventuellement beaucoup s'écarter. Pour cette raison, nous ne pouvons pas recommander l'adoption d'une telle méthode.

La méthode «directe» que nous avons décrite, présente l'avantage d'être absolument rigoureuse, sans prêter à aucune contestation, puisqu'elle reproduit fidèlement les phénomènes tels qu'ils se passent réellement dans la marche normale du transformateur. On pourrait peut-être seulement lui reprocher une complexité qui est d'ailleurs plus apparente que réelle, car si le montage est un peu plus compliqué, tout calcul se trouve supprimé.

D'ailleurs, même l'argument d'une complexité trop grande ne nous paraît pas prévaloir sur celui d'une erreur de principe. Et pour les cas que l'on tiendrait absolument à traiter avec simplicité, nous préférierions que les garanties ne soient données que pour des fonctionnements avec 2 enroulements et que ces garanties ne soient contrôlées que par des essais en court-circuit normaux, où deux enroulements seulement sont intéressés.

### IX. Annexe.

C'est un fait bien connu que les problèmes de pertes supplémentaires dans le cuivre d'un transformateur d'une part, et d'une machine d'autre part, présentent une analogie complète. Aussi les considérations précédentes peuvent-elles s'appliquer sans aucun changement aux conducteurs contenus dans une même encoche, lorsque ceux-ci sont parcourus par des courants de phase et de grandeur différentes. Le cas se présente par exemple dans les enroulements à pas raccourci.

## Induktionsschmelzofen für Aluminium und seine Legierungen.

Von E. Kern-Zindel, Menziken.

621.365.52

*Es wird die Installation eines Niederfrequenzinduktionsofens von 100 kW für das Schmelzen von Aluminium beschrieben. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass das energieliefernde Werk bereit war, den Ofen an zwei Phasen des Drehstromnetzes anzuschliessen. Es werden einige Angaben über den Energieverbrauch gemacht.*

*L'auteur décrit une installation de four à induction à basse fréquence de 100 kW pour la fonte d'aluminium. Il y a lieu de relever spécialement que le distributeur d'énergie s'est déclaré prêt à raccorder le four à deux des phases du réseau triphasé. Pour terminer, l'auteur donne quelques indications sur la consommation d'énergie.*

In letzter Zeit wurden Induktionsschmelzöfen, ähnlicher Bauart wie die bekannten Öfen zum Messingschmelzen, für Aluminium entwickelt. Es sind in der Hauptsache Niederfrequenzöfen von ca. 50 Per./s und 200 ... 400 Volt Primärspannung. Gegenüber den Hochfrequenzöfen sind diese Öfen im Betrieb billiger. Kennzeichnend für den Induktionsofen ist die fortwährende Durchmischung des Bades infolge der elektrodynamischen Kräfte im Schmelzbad. Diese Durchmischung und die Tatsache, dass die höchste Temperatur im Innern des Schmelzbades liegt, bieten verschiedene metallurgische Vorteile, so dass der Induktionsschmelzofen überall da verwendet wird, wo besonders gute Qualität erzeugt werden soll.

Im Bestreben, die Qualität des Aluminiums und seiner Legierungen für Walz- und Pressprodukte zu verbessern, hat sich eine Aluminiumfabrik in der Zentralschweiz im Winter 1938 zu der Anschaffung eines Niederfrequenzschmelzofens entschlossen. Als geeignet wurde ein Ofen von ca. 100 kW Leistungsaufnahme und ca. 5000 kg Schmelzleistung in 24 Stunden befunden. Der einfachen Bedienung wegen wurde dieser Ofen, wie die Induktionsöfen im allgemeinen, als Kippofen gebaut. Der mechanische Teil des Ofens inklusive Kippvorrichtung wurde von der eigenen Kesselschmiede gebaut.

Für die Ausführung des elektrischen Teiles der Anlage waren zuerst Verhandlungen mit dem Energielieferant nötig. In entgegenkommender Weise be-

willigte das energieliefernde Werk den Anschluss an 2 Phasen mit einem Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  von mindestens 0,8. Die Erlaubnis, den projektierten Ofen mit ca. 125 kVA an 2 Phasen der bestehenden Drehstromanlage anschliessen zu dürfen, vereinfachte den Bau der Schaltanlage wesentlich.

Durch die Induktionswirkung des Wechselstroms wird in dem als Sekundärwindung wirkenden Arbeitsgut durch die hohe Stromstärke von ca. 38 000 A die nötige Wärme erzeugt. Der projektierte Schmelzofen sollte nicht nur zum Schmelzen von Reinaluminium dienen, sondern auch für seine Legierungen, speziell Anticorodal und Avional. Da diese Legierungen gegenüber Reinaluminium bei 20° schon wesentliche Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit aufweisen, war die Bestimmung der Leitfähigkeit in geschmolzenem Zustand nötig. Eingehende Widerstandsmessungen haben ergeben, dass z. B. der Widerstand von Anticorodal gegenüber Reinaluminium in geschmolzenem Zustand um ca. 40 % kleiner ist. Es ist klar, dass diese verschiedenen Widerstände des Schmelzgutes die Leistungsaufnahmen des Ofens wesentlich beeinflussen. Um nun bei einer Primärspannung von ca. 380 Volt immer ungefähr die gleiche Leistungsaufnahme von ca. 100 kW zu erhalten, mussten am Ofentransformator 2 Anzapfungen vorgesehen werden.

Nach diesen Versuchen und Verhandlungen mit dem Energielieferanten konnte die elektrische Anlage entworfen und gebaut werden (Fig. 1 und 2).

Der Ofentransformator ist für künstliche Luftkühlung mit Isolation aus Asbest gebaut. Zwei Ventilatoren von je 0,37 kW sorgen dafür, dass die Uebertemperatur in der Wicklung 100° nicht übersteigt. Durch einen Thermostaten, verbunden mit einer Alarmglocke, wird die Wicklung gegen Ueberhitzung infolge Störungen der Ventilatoren geschützt.

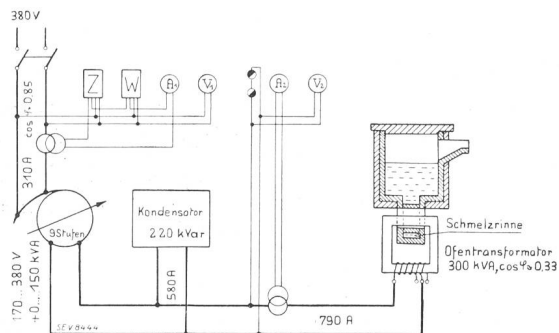


Fig. 1.

Schema der Schaltanlage für den Induktionsofen.

Die Inbetriebsetzung des Ofens erfolgt nach sorgfältigem Anwärmen mit einer elektrischen Heizeinrichtung, einer Gasheizung oder mit Oelbrennern. Hierauf wird das flüssige Metall in den Ofen gebracht und der elektrische Strom eingeschaltet. Der Reguliertransformator dient zur Belastungsregulierung, speziell bei der Inbetriebsetzung und wenn vorübergehend die Leistung des Ofens oder die Temperatur des geschmolzenen Metalles reduziert wer-

den muss. Infolge der Anzapfmöglichkeit am Ofentransformator kann für alle zu schmelzenden Legierungen mit ca. 100 kW auf Stufe 8—9 am Reguliertransformator, d. h. mit Normalspannung gearbeitet werden.

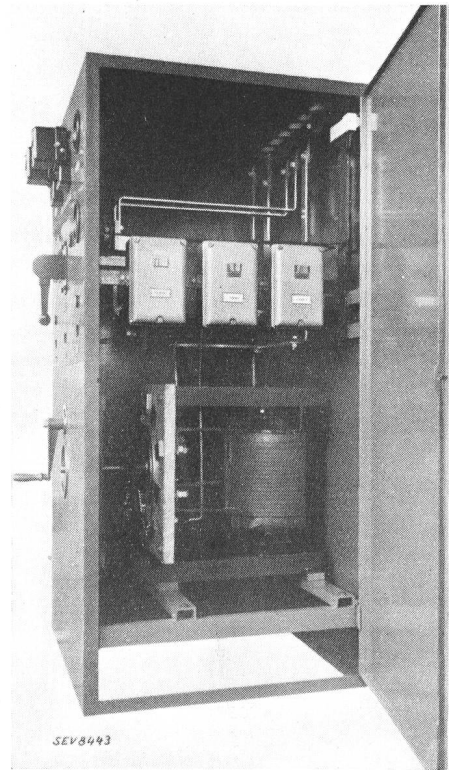


Fig. 2.

Ansicht der (geöffneten) Schaltkabine. Unten ist der Regulier-Transformator für Regulierung in 9 Stufen zu sehen.

Seit Oktober 1939 ist der Ofen ununterbrochen im Betrieb mit folgender Leistungsaufnahme:

| Stufe | kW  | A <sub>1</sub> | V <sub>1</sub> | cos φ <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | V <sub>2</sub> | cos φ <sub>2</sub> |
|-------|-----|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|
| 8     | 105 | 351            | 380            | 0,788              | 840            | 360            | 0,347              |
| 9     | 135 | 420            | 380            | 0,845              | 930            | 380            | 0,382              |

Der Energieverbrauch zum Schmelzen von einer Tonne Metall ist stark von den Betriebsbedingungen beeinflusst. Bei direktem Giessen ist mit 480 kWh/t und bei indirektem Giessen, wegen der um ca. 50° höheren Temperatur im Ofen, mit 530 kWh/t zu rechnen. Ohne Bedenken kann der Ofen dauernd mit 100 ... 130 kW belastet werden. Wenn der Ofen voll flüssigen Metalls ist, wird er bis zur Schmelzrinne entleert; dabei ist stets darauf zu achten, dass die Schmelzrinne noch geschlossen bleibt. Innerhalb von 24 Stunden muss die Schmelzrinne dreimal gereinigt werden und mit neuem flüssigem Metall gefüllt werden. Der Metallabbrand ist sehr gering; er beträgt für Blöcke nur ca. 0,8 % und für Blechabfälle ca. 1 %; bei allen übrigen Oefen ist mindestens mit dem doppelten Abbrand zu rechnen. Im Betrieb hat sich der Ofen bis jetzt sehr gut bewährt.