

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Eisenverluste in elliptischen Drehfeldern

Radt, Martin

Berlin, 1911

2. Allgemeines über die Vorausberechnung der Eisenverluste in
Dynamoankern

[urn:nbn:de:bsz:31-274924](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274924)

Im folgenden ist nun der Versuch gemacht, theoretisch und empirisch zu Formeln zu gelangen, die eine Berechnung der Einzelverluste von ruhenden und rotierenden Eisenmassen in elliptischen Drehfeldern mit einiger Genauigkeit gestatten.

2. Allgemeines über die Vorausberechnung der Eisenverluste in Dynamoankern.

Die Eisenverluste trennt man bekanntlich in Wirbelstromverluste W_w und Hysteresisverluste W_h und berechnet sie zu

$$W_w = \sigma_w \left(A \frac{c}{100} \frac{f_\epsilon B}{1000} \right)^2 V^1) \quad \dots \quad (1)$$

$$W_h = \sigma_h \frac{c}{100} \left(\frac{B}{1000} \right)^{1,6} V \quad \dots \quad (2)$$

Die Frage, ob die Hysteresisverluste bei wechselnder und bei drehender Ummagnetisierung voneinander verschieden sind, ist seit vielen Jahren heiß umstritten und auch heute noch ungelöst, da über das Wesen der Hysteresis noch nichts bekannt ist. Diese Frage liegt daher außerhalb der folgenden Untersuchung, in der im übrigen angenommen wird, daß die Verluste bei beiden Ummagnetisierungsarten gleich groß sind.

Außer diesen beiden Arten von Verlusten treten in Maschinen mit Nuten noch zusätzliche Eisenverluste auf. Die abwechselnde Folge von Zähnen und Nutenöffnungen bringt Ungleichmäßigkeiten in der Feldkurve hervor, die an der Oberfläche des gegenüberliegenden Maschinenteiles bei der Rotation Wirbelströme induzieren. Sind Stator und Rotor genutet, so ist die Leitfähigkeit eines Zahnes für den Hauptkraftfluß davon abhängig, ob ein Zahn oder eine Nut vor ihm steht, es entstehen Pulsationen des Hauptkraftflusses im Zahn und im Ankereisen und entsprechende Verluste. Ferner wird auch der Streufluß einer Nut sich in derselben Weise ändern und seinerseits Verluste hervorrufen. Alle diese zusätzlichen Verluste müssen nun soweit es geht von den anderen Eisenverlusten getrennt und besonders berechnet werden.²⁾

Ferner hängt die Größe der Verluste von der Temperatur des Eisens ab, und zwar werden diese mit wachsender Erwärmung geringer. Bei guten Blechen beträgt die Verminderung 1,5 bis 2% und bei gewöhnlichen Blechen 3 bis 4% für 10° C Temperatur-

¹⁾ Die Bedeutung der einzelnen Buchstaben ist aus dem Buchstabenverzeichnis S. 5 zu ersehen.

²⁾ Siehe O. S. Bragstad und A. Fraenckel ETZ 1908, S. 1074.

erhöhung. Bei experimentellen Untersuchungen muß also jedesmal die gleiche Temperatur innegehalten werden, oder es müssen die bei verschiedenen Temperaturen gemessenen Verluste auf die gleiche Temperatur reduziert werden.

Schließlich ändern sich die Eisenverluste auch mit der Form der Spannungskurve. Sie sind bei spitzen Kurven kleiner, bei flachen größer als bei Sinusform. Versuche über den Einfluß der Temperatur und der Spannungskurve auf die Verluste sind häufig angestellt worden, und es wird im folgenden nur so weit auf diese Faktoren eingegangen, wie es ihre Berücksichtigung bei der experimentellen Untersuchung verlangt.

Die Eisenverluste W_h und W_w berechnet man nun gewöhnlich mit einer Induktion B , die sich aus der Formel

$$B = \frac{\Phi}{Q}$$

ergibt.

Man trennt dabei noch die Verluste in die der Zähne und des vollen Eisenquerschnittes, wobei man die Veränderlichkeit der Induktion in den Zähnen vom Zahnkopf bis zum Zahnfuß berücksichtigt.¹⁾ Unsere folgenden Betrachtungen beziehen sich zunächst nur auf ungenutzte Anker.

Die Einführung von B als maximale Induktion in die Gl. 1 und 2 setzt voraus, daß die Induktion im Anker in radialer Richtung (über die ganze Eisenhöhe h hin) konstant ist. Diese Voraussetzung trifft aber durchaus nicht zu. W. M. Thornton²⁾ und v. Studniarski³⁾ haben experimentell festgestellt, daß die Induktion von der Oberfläche des Ankers nach innen zu erst wächst und dann bis zur inneren Begrenzung des Ankers wieder fällt, also eine Bockkurve bildet. Rüdtenberg⁴⁾ hat, ausgehend von den Maxwell'schen Gleichungen, die Gleichung für die Induktionsverteilung aufgestellt und ist zu Resultaten gekommen, die den genannten Versuchen recht gut entsprechen. Nach diesen Formeln ist die Induktionsverteilung abhängig von dem Verhältnis: Eisenhöhe: Polteilung ($h : \tau$) und der Krümmung der Ankeroberfläche (also auch der Polzahl). Es müssen sich also bei gleichen Feldkurven, gleicher Periodenzahl und mittlerer Induktion im Eisen die Eisenverluste mit den geometrischen Abmessungen des Ankers ändern.

¹⁾ Siehe E. Arnold, Gleichstrommaschine, Bd. I.

²⁾ Electrician 1904, S. 749 und E. Arnold, Die Gleichstrommaschine, Bd. I, S. 635.

³⁾ Dissertation, Über die Verteilung der magnetischen Kraftlinien im Anker einer Gleichstrommaschine, Berlin 1905.

⁴⁾ ETZ 1906, S. 109.

Nach Rüdberg ist die Konstante zur Berechnung der Wirbelstromverluste noch zu multiplizieren mit

$$\pi \frac{h}{\tau} \frac{1 + \left(1 - \frac{\pi h}{p \tau}\right)^{2p}}{1 - \left(1 - \frac{\pi h}{p \tau}\right)^{2p}} \dots \dots \dots (3)$$

der Einfluß der ungleichmäßigen Verteilung auf die Hysteresisverluste ist dagegen bei Maschinen mit größerer Polzahl (von 6 an) nur gering. Die Formel ist nicht ganz korrekt, da sie unter der Annahme einer unveränderlichen Permeabilität μ des Eisens und unter Vernachlässigung der Rückwirkung der Wirbelströme auf das Feld abgeleitet ist. Diese Abweichungen von der Wirklichkeit geben aber keine großen Fehler.

Formel 3 gilt für ein sinusförmiges Feld oder für die Grundwelle eines verzerrten Feldes. Für jede höhere Harmonische muß man die Rechnung besonders durchführen und dann superponieren. Die höheren Harmonischen ändern die Feldverteilung im Anker, ihr Einfluß nimmt aber nach dem Ankerinnern zu schnell ab.

Die nachfolgende Untersuchung erstreckt sich nicht auf die Abhängigkeit des Verlustes bei gleichbleibendem Feld von der Eisenhöhe, sondern bestimmt den Einfluß verschiedener elliptischer Felder, Induktionen und Periodenzahlen auf die Verluste eines gegebenen Ankerkörpers. Solange nicht weitere Untersuchungen vorliegen, müssen die Ergebnisse an Hand der Rüdbergschen Formel auf Anker mit einem anderen Verhältnis $h:\tau$ übertragen werden.

3. Das elliptische Drehfeld.

Ein elliptisches Drehfeld entsteht durch das Zusammenwirken zweier oder mehrerer Wechselfelder, die räumlich und zeitlich Phasenverschiebung gegeneinander besitzen. Wir wollen zunächst zwei Wechselfelder mit den Amplituden B_1 und B_2 betrachten, die räumlich und zeitlich um 90° gegeneinander verschoben sind.

In Fig. 1 sind $\overline{MA} = B_1$ und $\overline{MB} = B_2$ die Amplituden der beiden Wechselfelder. Für die Stellungen 0 bis 3 des Zeitvektors ist die Zusammensetzung der Felder eingezeichnet, der resultierende Vektor geht durch die entsprechenden Punkte B, I, II, III , die auf dem Umfange einer Ellipse liegen. Der Vektor des elliptischen Feldes bewegt sich mit ungleichmäßiger Geschwindigkeit (er beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Flächen), was man an den Winkeln α_1 und α_2 erkennen kann, die der Feldvektor mit dem Zeit-