

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Eisenverluste in elliptischen Drehfeldern

Radt, Martin

Berlin, 1911

3. Das elliptische Drehfeld

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

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-

vektor bildet. Im Punkt B hat der Feldvektor die größte Geschwindigkeit. Die Winkelgeschwindigkeit ist hier gleich

$$\omega \frac{B_1}{B_2}$$

In A ist die (kleinste) Winkelgeschwindigkeit des Feldes gleich

$$\omega \frac{B_2}{B_1}$$

das Verhältnis der Geschwindigkeiten in B und A ist also

$$\frac{B_1^2}{B_2^2}$$

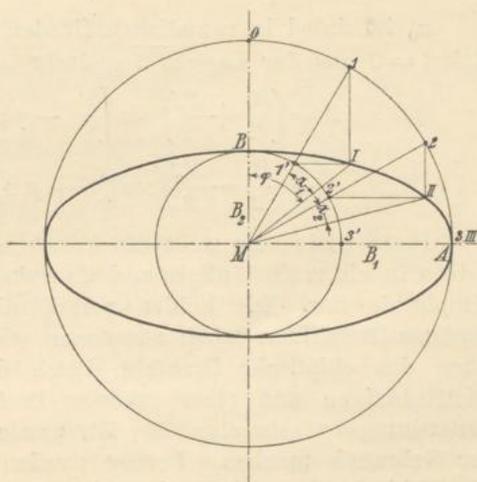


Fig. 1. Entstehung eines elliptischen Drehfeldes aus zwei Wechselfeldern.

In einem beliebigen Augenblicke, zur Zeit ωt , bekommen wir für den Winkel φ , um den sich der Vektor des elliptischen Feldes aus der Lage \overline{MO} gedreht hat:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{B_1 \sin \omega t}{B_2 \cos \omega t} = \frac{B_1}{B_2} \operatorname{tg} \omega t \quad \dots \quad (4)$$

Die Winkelgeschwindigkeit des Feldvektors ist zu dieser Zeit

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= \frac{d}{dt} \operatorname{arctg} \left(\frac{B_1}{B_2} \operatorname{tg} \omega t \right) = \frac{\frac{B_1}{B_2} \omega}{1 + \frac{B_1^2}{B_2^2} \operatorname{tg}^2 \omega t} \\ &= \frac{B_1 B_2}{B_1^2 \sin^2 \omega t + B_2^2 \cos^2 \omega t} \omega \quad \dots \quad (5) \end{aligned}$$

Die Leistungsübertragung eines elliptischen Feldes auf einen Rotor ist also ungleichmäßig. In dem Bereich der Geschwindigkeiten $\omega \frac{B_2}{B_1}$ bis $\omega \frac{B_1}{B_2}$ des Rotors läuft das Feld in einem Augenblick synchron mit dem Rotor und kurz vorher und nachher schneller oder langsamer.

Nehmen wir an, daß die Feldkurven der beiden Wechselfelder Sinusform besitzen, so ist, wenn der Rotor die Geschwindigkeit

$$\omega_r = \frac{\pi n}{30} \text{ besitzt, die Induktion an einer Stelle } P \text{ des Umfanges}$$

$$B = B_1 \sin \omega t \sin p(\alpha_0 + \omega_r t) + B_2 \cos \omega t \cos p(\alpha_0 + \omega_r t) \quad (6)$$

α_0 ist dabei in räumlichen Graden der Winkel, um den P zur Zeit $t=0$ aus der Lage \overline{MB} gedreht ist. Es ist nun

$$B = \left(\frac{B_1}{2} + \frac{B_2}{2}\right) \cos [(\omega - p\omega_r)t - p\alpha_0] - \left(\frac{B_1}{2} - \frac{B_2}{2}\right) \cos [(\omega + p\omega_r)t + p\alpha_0] \dots (7)$$

Diese Gleichung stellt die bekannte Zerlegung eines Wechselfeldes in ein rechtsläufiges und ein linksläufiges Drehfeld von halber Amplitude dar. Die beiden rechtsläufigen und die beiden linksläufigen Drehfelder geben zusammen wieder je ein Drehfeld, so daß auch das elliptische Drehfeld durch das Zusammenwirken eines gleichsinnigen und eines inversen Drehfeldes entsteht. Da diese Entstehungsart sehr sinnfällig ist, werden wir, soweit es geht, von ihr Gebrauch machen. Ferner werden wir uns jedes elliptische Drehfeld durch zwei Wechselfelder erzeugt denken, die räumlich und zeitlich um 90° gegeneinander verschoben sind.

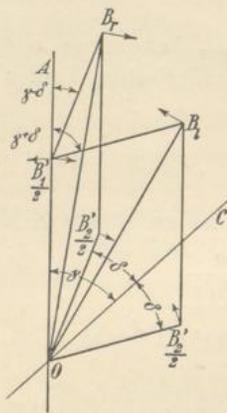


Fig. 2.

In Fig. 2 denken wir uns zwei Wechselfelder B_1' und B_2' , die in den Richtungen OA bzw. OC pulsieren, also räumlich um den Winkel γ verschoben sind. Die zeitliche Verschiebung sei δ . Wir zerlegen jedes der beiden Wechselfelder in zwei Drehfelder. In Fig. 2 ist angenommen, daß B_1' im Maximum ist, die beiden Drehfeldvektoren $\frac{1}{2}B_1'$ liegen also in OA , während die Vektoren $\frac{1}{2}B_2'$ noch je um den Winkel δ von der Achse OC entfernt sind. Wir setzen nun die beiden rechtsläufigen und die beiden linksläufigen Drehfelder geometrisch zusammen. Es ist

$$\left. \begin{aligned} B_r &= \frac{1}{2} \sqrt{B_1'^2 + B_2'^2 + 2 B_1' B_2' \cos(\gamma - \delta)} \\ \text{und} \\ B_l &= \frac{1}{2} \sqrt{B_1'^2 + B_2'^2 + 2 B_1' B_2' \cos(\gamma + \delta)} \end{aligned} \right\} (8)$$

Das gleiche elliptische Feld entsteht aber auch durch zwei aufeinander senkrecht stehende Wechselfelder mit den Amplituden $B_1 = B_r + B_l$ und $B_2 = B_r - B_l$. Es ist somit auch

$$B_r = \frac{B_1 + B_2}{2}, \quad B_l = \frac{B_1 - B_2}{2}$$

Die eine Hauptachse der Ellipse finden wir, wenn wir in einem beliebigen Zeitpunkte den Winkel zwischen B_l und B_r halbieren.

In Fig. 3 ist die Ellipse gezeichnet, und es sind hier das rechts- und das linksläufige Feld B_r und B_l und die beiden aufeinander

senkrechten Wechselfelder B_1 und B_2 eingetragen, während die ursprünglich angenommenen Felder B_1' und B_2' nicht mehr eingezeichnet sind.

Diese Zerlegung des elliptischen Feldes in zwei Drehfelder ist nicht streng richtig, da die Sättigung des Eisens dabei unberücksichtigt bleibt. In Wirklichkeit besitzt das elliptische Drehfeld in der großen Achse eine mehr abgeflachte Feldkurve als in der kleinen Achse. Solange die Induktion im Eisen aber nicht sehr groß ist, ist der hierbei gemachte Fehler für technische Berechnungen noch zulässig.

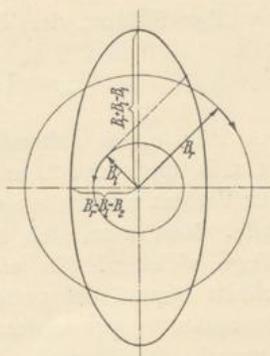


Fig. 3. Entstehung eines elliptischen Drehfeldes aus zwei gegenläufigen Kreisfeldern ungleicher Amplitude.

4. Die Wirbelstromverluste in elliptischen Drehfeldern.

Da die Periodenzahl des elliptischen Drehfeldes entsprechend den beiden Drehfeldern eine zusammengesetzte ist, Ströme verschiedener Periodenzahl sich aber in demselben Leiter gegenseitig nicht beeinflussen, können wir die Wirbelstromverluste für die beiden Drehfelder einzeln berechnen und dann addieren. Es ist also der gesamte Wirbelstromverlust

$$W_w = \sigma_w c^2 A^2 \left[B_r^2 \left(1 - \frac{c_r}{c}\right)^2 + B_l^2 \left(1 + \frac{c_r}{c}\right)^2 \right] V \cdot 10^{-10} \text{ Watt.}$$

$$c_r = \frac{pn}{60} = \frac{p\omega_r}{2\pi}$$

ist die Periodenzahl der Rotation. Wir wollen nun den Verlust durch die Amplituden der Wechselfelder B_1 und B_2 , also durch die Halbachsen der Ellipse, ausdrücken und setzen

$$\frac{B_2}{B_1} = k \dots \dots \dots (9)$$

Es ist dann

$$W_w = \sigma_w c^2 A^2 \left[\left(\frac{B_1 + B_2}{2}\right)^2 \left(1 - \frac{c_r}{c}\right)^2 + \left(\frac{B_1 - B_2}{2}\right)^2 \left(1 + \frac{c_r}{c}\right)^2 \right] V \cdot 10^{-10}$$

$$W_w = \sigma_w c^2 A^2 \frac{B_1^2}{4} \left[(1+k)^2 \left(1 - \frac{c_r}{c}\right)^2 + (1-k)^2 \left(1 + \frac{c_r}{c}\right)^2 \right] V \cdot 10^{-10}$$

$$W_w = \frac{1}{2} \sigma_w \left(A \frac{c}{1000} \frac{B_1}{1000} \right)^2 \left[\left(k - \frac{c_r}{c}\right)^2 + \left(1 - k \frac{c_r}{c}\right)^2 \right] V \dots (10)$$