

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Eisenverluste in elliptischen Drehfeldern

Radt, Martin

Berlin, 1911

6. Der Hysteresissprung

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

wenig ändern können, lehren schon die in Fig. 7 bis 9 gegebenen Ummagnetisierungskurven. Mit wachsender Geschwindigkeit des Rotors erhöht sich zwar die Zahl der Ummagnetisierungen, aber gleichzeitig nimmt von Stillstand bis Synchronismus die Amplitude der magnetisierenden Kraft von B_1 auf $\frac{1}{2} B_1$ ab. Bei Synchronismus ist für jeden Querschnitt die Periodenzahl $2c$ und die Amplitude der Induktion $\frac{1}{2} B_1$. Nehmen wir zunächst an, daß für alle Querschnitte das Steinmetzsche Gesetz anwendbar wäre, so würde der Verlust sein $(\frac{1}{2})^{1,6} \cdot 2 = 0,66$ von dem in einem Drehfeld. Da aber nur Punkt 2 und der ihm diametral gegenüberliegende Punkt zyklisch zwischen zwei gleichen und entgegengesetzten Werten der Induktion ummagnetisiert werden, für alle übrigen Querschnitte die Hysteresisschleife kleiner ausfällt, wird der Gesamtverlust geringer als 0,66 und sich dem Werte 0,55 bei Stillstand nähern. Von Übersynchronismus an wächst der Verlust, da die Amplitude der magnetisierenden Kraft wieder größer wird und die Periodenzahl ständig wächst.

Um die Rechnung zu erleichtern, ist für verschiedene Werte von k der Faktor, der die Verkleinerung der Hysteresisverluste gegenüber den Verlusten im Drehfeld berücksichtigt und den wir mit k_{hr} bezeichnet haben, in Fig. 15 als Funktion von $\frac{c_r}{c}$ aufgetragen.

6. Der Hysteresissprung.

Die Hysteresis verursacht eine eigentümliche, zuerst von O. Th. Lehmann¹⁾ für ein Kreisdrehfeld beschriebene Erscheinung, die von Einfluß ist auf die Art, in der die Hysteresisverluste gedeckt werden, und die eine einfache Trennung der Verluste ermöglicht. Treibt man den Rotor eines Induktionsmotors mechanisch an und mißt die dem Stator elektrisch und der Welle mechanisch zugeführte Leistung, so bemerkt man beim Durchgang durch den Synchronismus eine sprunghafte Abnahme der Leistungszuführung zum Stator und eine entsprechende Zunahme der Leistung an der Rotorwelle. Diese Änderung rührt daher, daß die Hysteresis eine konstante Anziehung zwischen dem magnetisierenden Strom und dem magnetischen Feld des Rotors, also ein konstantes Drehmoment verursacht, das immer im Sinne der Relativbewegung des Feldes gegenüber dem Rotor wirkt.

Nehmen wir an, daß die Feldkurve genau sinusförmig und die EMK.-Kurve ebenfalls von Sinusform sei, so muß das im Luftspalt entstehende Drehfeld ebenfalls sinusförmig sein. Der Magnetisierungsstrom muß dann immer so groß sein und eine solche Kurvenform

¹⁾ ETZ 1903, S. 735.

besitzen, daß er dies Feld erzeugen kann, er muß z. B. an der Stelle, an der die Feldstärke Null sein soll, bereits eine gewisse Größe haben, d. h. dem Felde etwas voreilen. Infolgedessen besteht zwischen dem Strom und dem Felde eine Anziehung. Von dem zeitlichen Zurückbleiben des Magnetismus hinter der magnetisierenden Kraft, der sogenannten Viskosität, sehen wir hierbei ab, da ihr Einfluß unbedeutend ist.

Den ganzen Strom können wir uns aus zwei Komponenten bestehend denken, von denen eine den Stator, die andere den Rotor ummagnetisiert. Jede Komponente wirkt zusammen mit der Magnetisierung des betreffenden Eisenkörpers so, daß im Luftspalt sowohl vom Stator, als auch vom Rotor aus erzeugt je ein sinusförmiges Feld entsteht. Da aber zwischen diesen beiden sinusförmig verteilten magnetischen Feldern von Rotor und Stator nur eine radiale Anziehung besteht, bildet jede Stromkomponente nur mit dem von ihr ummagnetisierten Eisenteil ein Drehmoment, aber nicht mit dem andern. Da der Stator fest mit der Wicklung verbunden ist, ist an der Welle nur das Drehmoment bemerkbar, das die magnetisierten Eisenteilchen des Rotors mit der zu ihnen gehörigen Stromkomponente bilden. Da innerhalb der in der Technik gebräuchlichen Periodenzahlen die Form der Hysteresisschleife sich nur unwesentlich ändert, bleibt die Größe und Form der Magnetisierungskomponente des Rotors bei allen Umdrehungszahlen die gleiche. Nur die Geschwindigkeit, mit der sich die Stromwelle relativ zur Rotoroberfläche bewegt, ändert sich, zwischen dem konstanten Feld und dem konstanten Strom herrscht aber eine konstante Anziehung, deren Richtung von dieser Relativbewegung abhängt. Unterhalb Synchronismus treibt das Feld den Rotor deswegen an, unmittelbar über Synchronismus muß man dem Rotor das konstante Drehmoment mechanisch erteilen, die Maschine arbeitet als Generator. Beim Durchgang durch Synchronismus findet der „Hysteresissprung“ zeitlich nicht plötzlich statt, sondern es vergehen erst einige Magnetisierungszyklen, bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Wäre es möglich, den Rotor ganz allmählich von Untersynchronismus bis zum Synchronismus zu bringen, so herrscht in dem Augenblick, in dem Synchronismus erreicht wird, noch das volle Drehmoment, und der Motor könnte als Synchronmotor eine Leistung abgeben, die gleich dem Hysteresisdrehmoment mal der Winkelgeschwindigkeit ist. Wird jetzt die äußere Belastung so verringert, daß sie kleiner ist als dem vollen Hysteresisdrehmoment entspricht, so wird die Form der Magnetisierungskomponente des Rotors sich etwas ändern (der Sinusform nähern), bis die Anziehung so klein geworden ist, daß Gleichgewicht herrscht. Bei der Belastung Null

ist keine tangential wirkende Kraft mehr vorhanden. Es wäre auf solche Weise also möglich, alle die Stadien, die der Rotor im Hysteresissprung schnell durchläuft, ganz allmählich eintreten zu lassen.

Ist W_h der Hysteresisverlust im Rotor bei Stillstand, s die Schlüpfung, so ist der Verlust im rotierenden Rotor $s \cdot W_h$. Dieser Verlust muß von dem magnetischen Felde, das mit der Geschwindigkeit $s\omega$ relativ zum Rotor sich bewegt, auf den Rotor übertragen werden, und es ist

$$\begin{aligned} \vartheta_h \cdot s\omega &= W_h s \\ \vartheta_h &= \frac{W_h}{\omega} \dots \dots \dots (17) \end{aligned}$$

Das konstante Hysteresisdrehmoment ϑ_h entspricht also den Hysteresisverlusten im Rotor bei Stillstand, und um den doppelten Betrag dieses Wertes muß die Leistungsaufnahme des Stators bei Durchgang durch Synchronismus abnehmen.

Im elliptischen Drehfelde liegen die Verhältnisse bei Synchronismus nicht mehr so einfach. Wir haben auf Seite 11 gesehen, daß die Drehgeschwindigkeit des Feldes sich zwischen den Werten $\omega \frac{B_1}{B_2}$ und $\omega \frac{B_2}{B_1}$ ändert. Der Rotor läuft also bei allen

Umdrehungszahlen, die zwischen diesen Geschwindigkeiten liegen, bald schneller, bald langsamer, bald gleichschnell mit dem Felde. Da aber die Bewegung des elliptischen Feldes die Resultierende aus den gleichförmigen Winkelgeschwindigkeiten zweier gegenläufiger Drehfelder ist, so ist auch hier wieder der Synchronismus des Rotors von besonderer Bedeutung, da hierbei der Rotor seine Relativbewegung zum rechtsdrehenden Felde ändert. Tatsächlich beobachtet man auch im elliptischen Felde einen Hysteresissprung, nur ist er nicht so groß wie im Kreisdrehfeld, weil der Einfluß des linksdrehenden Feldes sich geltend macht. Die Größe des Sprunges ist rechnerisch nicht zu bestimmen, da er eine komplizierte Funktion der durch die beiden Drehfelder gemeinsam hervorgebrachten Umagnetisierung ist.

Im Wechselfelde ist der Hysteresissprung am geringsten, aber noch deutlich meßbar. Er entsteht hier einmal, weil die Relativbewegung zwischen Rotor und dem gedachten rechtsdrehenden Felde sich ändert, und zweitens, weil auch die Wirbelströme zusammen mit dem Hauptfelde ein schwaches rechtsdrehendes Feld erzeugen. Hier ruft der Sprung noch eine weitere interessante Erscheinung hervor. Schaltet man, wie Fig. 28 zeigt, in eine quer zum Wechselströme liegende Wicklung ein Voltmeter ein, so mißt man eine geringe induzierte EMK. Diese EMK rührt zum Teil

vom Quersfeld der Wirbelströme her, das ungefähr proportional mit der Geschwindigkeit des Rotors wächst. Bei Synchronismus ist eine sprunghafte Vergrößerung der EMK zu beobachten, die ebenfalls von der sprunghaften Änderung der magnetischen Verhältnisse im Rotor zeugt. Eine einwandfreie physikalische Erklärung dieses Vorganges konnte nicht gefunden werden. In Fig. 16 ist als Beispiel die in der Querspule gemessene Spannung als Funktion der Rotorumdrehungszahl aufgetragen. Der Versuch ist bei einer Periodenzahl von $c = 40$ und einer maximalen Luftinduktion von 3000 angesetzt. Als Voltmeter diente ein Spiegelinstrument von 3000 Ohm Widerstand.

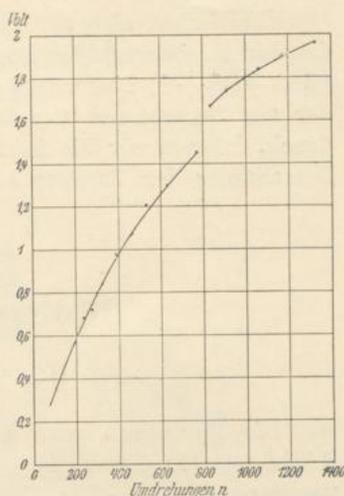


Fig. 16. Bei Drehung des Rotors im Wechselfelde in der Querspule induzierte Spannung.

7. Die zusätzlichen Verluste in elliptischen Drehfeldern.

Die zusätzlichen Verluste, die aus Oberflächenverlusten und Pulsationsverlusten bestehen, sind nach den Untersuchungen von Bragstad und Fraenckel¹⁾ abhängig von der 1,5. Potenz der Geschwindigkeit des Rotors und dem Quadrate der Induktion, dagegen unabhängig von der Periodenzahl des Statorstromes und von der Drehrichtung. Da hiernach für die Berechnung der Verluste in elliptischen Drehfeldern gegenüber den Kreisdrehfeldern nur die veränderte Verteilung der Induktion in Betracht kommt, müssen wir an Stelle der in den Formeln für Kreisdrehfelder vorkommenden konstanten Maximalinduktion hier den Mittelwert aus der Summe der Quadrate der von Punkt zu Punkt veränderlichen Maximalinduktion bilden. Da wir auf Seite 23 schon den Wert dieser Induktion berechnet haben, können wir sofort das Integral ansetzen

$$\begin{aligned} \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} B_{max}^2 d\alpha &= \frac{2}{\pi} B_1^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} [\sin^2 \alpha (k^2 - 1) + 1] d\alpha \\ &= \frac{2}{\pi} B_1^2 \left[(k^2 - 1) \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} \right] = \frac{1}{2} (k^2 + 1) B_1^2 \quad (18) \end{aligned}$$

¹⁾ ETZ 1908, S. 1074.