

rücksichtigung der Beziehungen zwischen J_H und J_n bzw. E_H und E_n erhält man:

$$(6) \dots \dots W_{(\Delta \text{ oder } \lambda)} = 1,732 \cdot J_H \cdot E_H \cdot \cos \varphi.$$

Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ schwankt, je nachdem Licht- oder Motorenbetrieb vorherrschend ist, zwischen 1 und 0,70.

Es empfiehlt sich, um Mißverständnissen vorzubeugen, beim Mehrphasensystem allgemein mit „Spannung“ die oben definierte verkettete Spannung E_H (zwischen den Außenleitern), mit „Sternspannung“ dagegen die Spannung zwischen Außenleiter und Nullpunkt (Verkettungspunkt) zu bezeichnen. Diese Bezeichnungen seien auch in nachstehenden Ausführungen eingehalten, sofern nicht aus besonderen Gründen ausdrücklich andere Benennungen gebraucht werden.

Bezeichnet V den Spannungsverlust zwischen zwei Hauptleitungen, R den Widerstand einer Leitung, p_v bzw. p_a den prozentualen Spannungs- bzw. Arbeitsverlust, so bestehen folgende Beziehungen:

$$(7) \dots \dots V = \sqrt{3} \cdot R \cdot J_H \cdot \cos \varphi, \text{ und}$$

$$(8) \dots \dots p_v = p_a \cdot \cos^2 \varphi.$$

Der prozentuale Spannungsverlust ist also gewöhnlich kleiner als der prozentuale Arbeitsverlust; hingegen ist für $\cos \varphi = 1$

$$p_v = p_a.$$

Für $\cos \varphi = 0,7$ wird der Spannungsverlust

$$p_v = 0,49 \cdot p_a,$$

also etwa die Hälfte des Arbeitsverlustes.

3. Effektverluste und Wirkungsgrad eines Mehrphasengenerators.

Die in den einzelnen Teilen des Generators auftretenden Effektverluste sind bedingt durch:

1. Die erzeugte Erregerenergie; dieselbe ist gleich $i_e^2 \cdot w_e$ (i_e = Erregerstrom, w_e = Widerstand der Erregerwicklung).
2. Den Verlust E_e in der Erregermaschine und den Widerstandsregulatoren.
3. Die Übergangs- und Leitungsverluste an den Schleifringen des rotierenden Ankers $E_{\ddot{u}}$.
4. Den Ohmschen Verlust $p \cdot J^2 \cdot w_a$ im Anker (J = effektiver Ankerstrom pro Phase, w_a = Ankerwiderstand pro Phase, p = Phasenzahl).
5. Wirbelstromverluste E_w in den Ankerleitern. (Durch Unterteilung der Ankerleiter wird diese Größe reduziert.)
6. Hysteresis und Wirbelstromverluste¹⁾ E_{H+W} im Eisen. Die Steinmetz'schen Formeln haben hier keine genaue Gültigkeit. Der

¹⁾ Siehe Fußnote S. 315.

erstere Verlust ist experimentell zu bestimmen, da derselbe mit der Induktion, der Periodenzahl und der Eisensorte sehr variiert. Der Wirbelstromverlust kann annähernd nach der Formel von Steinmetz bestimmt werden. Die Größe der Induktion ist mit Rücksicht auf die zulässige Temperaturerhöhung und den Wirkungsgrad zu wählen. Je besser die Abkühlung ist und je kleiner der Wirkungsgrad sein darf, desto größer kann die Induktion gewählt werden.

7. Lagerreibungsarbeit R_{la} . Dieser Verlust hängt lediglich von der Beschaffenheit, der Temperatur und dem verwendeten Öle des Lagers ab. Die Dettmarsche Formel liefert bei einem spezifischen Lagerdrucke bis etwa 35 kg gute Resultate. Sie lautet:

$$(9) \dots \text{Lagerreibungsarbeit in Watt } R_{la} = 49,05 \cdot r \cdot d \cdot l \cdot \sqrt{v^3}$$

[d Zapfendurchmesser in Zentimeter, l Zapfenlänge in Zentimeter, v Umfangsgeschwindigkeit des Zapfens in Meter-Sekunden, $r =$ etwa 0,015 (Reibungskoeffizient)]. Über die Lagerreibungsarbeit als Funktion der umgebenden Temperatur finden sich wertvolle Angaben im Niethammerschen Werke „Wechselstromerzeuger“.

8. Die Luftreibungsarbeit R_{lu} wächst stark mit zunehmender Umlaufgeschwindigkeit, kann also bei hoher Tourenzahl bedeutend werden. Im übrigen kann man sie nur schätzungsweise bestimmen.

9. Die Bürstenreibung R_b auf den Schleifringen bzw. dem Kommutator der Erregermaschine. Dieser Verlust läßt sich angenähert in Watt bestimmen durch die Relation:

$$(10) \dots \dots \dots R_b = 9,81 \cdot q \cdot d_r \cdot u \cdot k_r$$

(q Bürstenquerschnitt in Quadratcentimeter, d_r spezifischer Druck der Bürsten in Kilogramm-Quadratcentimeter, im Mittel etwa 0,130; u Umfangsgeschwindigkeit in Meter-Sekunden, k_r Reibungskoeffizient für Metall- und Kohlenbürsten, im Mittel etwa 0,3).

Aus diesen Verlusten bestimmt sich der Gesamtwirkungsgrad durch:

$$(11) \cdot \eta = \frac{p \cdot J \cdot E_k \cdot \cos \varphi}{p \cdot J \cdot E_k \cdot \cos \varphi + \text{Summe der Verluste unter 1 bis 9}}$$

Der Nenner dieses Ausdruckes stellt naturgemäß die dem Generator zugeführte Gesamtenergie dar. E_k bedeutet hierin die Klemmenspannung (in dem Sinne, daß dieselbe z. B. bei verkettetem Dreiphasenstrom in Sternschaltung zwischen Außenleiter und Verkettungspunkt, d. h. als Sternspannung gemessen wird).

Bezüglich Erwärmung und Abkühlung einer Wechselstrommaschine verweise ich auf das für Gleichstrommaschine Gesagte (s. S. 276 u. f.).

4. Theoretische Bemerkungen über asynchrone Drehstrommotoren.

Um das Verständnis für die späteren Versuche zu klären, seien hier noch einige Erläuterungen und Formeln für die asynchronen Drehstrommotoren gegeben. Für den Drehstrommotor ist ein Hauptmoment eine