Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 53 (1962)

Heft: 7

Rubrik: Regeln für elektrische Maschinen

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

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

Regeln für elektrische Maschinen

Der Vorstand des SEV veröffentlicht im folgenden den Entwurf der Regeln für elektrische Maschinen (2. Auflage). Der Entwurf wurde in 4jähriger Tätigkeit vom Fachkollegium 2 (Elektrische Maschinen) des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (CES) ausgearbeitet und von diesem genehmigt. Er entstand in Überarbeitung der 1. Auflage (Publ. Nr. 188.1951 und Nr. 188/1.1952 des SEV).

Der Vorstand lädt die Mitglieder ein, den Entwurf zu prüfen und eventuelle Bemerkungen dazu bis *spätestens Samstag, 28. April 1962, in doppelter Ausführung* dem Sekretariat des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, zu unterbreiten. Sollten keine Bemerkungen eingehen, so würde der Vorstand annehmen, die Mitglieder seien mit dem Entwurf einverstanden. Er würde dann über die Inkraftsetzung beschliessen.

Entwurf

Regeln für elektrische Maschinen

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort ... ...

1 Einleitung ... ...
- 1.1 Zweck ... ...
- 1.2 Geltungsbereich ... ...
- 1.3 Buchstabensymbole und Zeichen ... ...

2 Definitionen ... ...
- 2.1 Maschinenarten ... ...
- 2.2 Arbeitsart ... ...
- 2.3 Bestandteile ... ...
- 2.4 Nennbetrieb ... ...
- 2.5 Spannung und Strom ... ...
- 2.6 Leistung ... ...
- 2.7 Leistungsfaktor ... ...
- 2.8 Wirkungsgrad ... ...
- 2.9 Erregung ... ...
- 2.10 Drehmomente ... ...
- 2.11 Kühlungs- und Ventilationsarten ... ...
- 2.12 Drehzahlverhalten ... ...
- 2.13 Drehzahländerung ... ...
- 2.14 Schlupf ... ...

3 Genormte Werte ... ...
- 3.1 Frequenzen ... ...
- 3.2 Spannungen ... ...
- 3.3 Drehzahlen ... ...
- 3.4 Leistungsfaktoren ... ...

4 Nennbetriebsarten ... ...
- 4.1 Einteilung ... ...
- 4.2 Dauernennbetrieb (DB) ... ...
- 4.3 Kurzzeitiger Nennbetrieb (KB) ... ...
- 4.4 Aussetzender Nennbetrieb (AB) ... ...
- 4.5 Dauernennbetrieb mit aussetzender Belastung (DAB) ... ...

5 Schutzarten ... ...

6 Allgemeine Bestimmungen über die Prüfung ...
- 6.1 Prüfungen ... ...
- 6.2 Bürstenstellung ... ...

7 Erwärmung ... ...
- 7.1 Definition des Begriffes Erwärmung ... ...
- 7.2 Dauer des Erwärmungsversuches ... ...
- 7.3 Temperaturmessmethoden ... ...

Seite
- 7.4 Anwendung der einzelnen Methoden zur Messung der Wicklungstemperatur ... ...
- 7.5 Temperatur des Kühlmittels ... ...
- 7.6 Messung der Temperatur des Kühlmittels während des Versuches ... ...
- 7.7 Korrektur für Messungen, die erst nach Stillsetzung der Maschine gemacht werden ... ...
- 7.8 Anfangswiderstand ... ...
- 7.9 Tabelle der Grenzerwärmungen ... ...
- 7.10 Wicklungen für mehr als 11 000 V ... ...
- 7.11 Maschinen, deren Kühlmitteltemperaturen von den normalen Bezugstemperaturen der Ziff. 1.2, Alinea b) abweichen ... ...
- 7.12 Wärmebeständigkeitsklassen der Isolierstoffe
- 7.13 Isolationen aus Isolierstoffen verschiedener Klassen ... ...

8 Isolierfestigkeit ... ...
- 8.1 Spannungsprüfungen ... ...
- 8.2 Wiederholung der Spannungsprüfung ... ...

9 Wirkungsgradbestimmung ... ...
- 9.1 Allgemeines ... ...
- 9.2 Wirkungsgradbestimmung durch Messung der aufgenommenen und abgegebenen Leistung ...
- 9.3 Wirkungsgradbestimmung nach der kalorimetrischen Methode ... ...
- 9.4 Wirkungsgradbestimmung nach der Rückarbeitsmethode ... ...
- 9.5 Wirkungsgradbestimmung nach der Einzelverlustmethode ... ...

10 Bestimmung der Einzelverluste bei Synchronmaschinen ... ...
- 10.1 Bestimmung der Leerverluste bei Synchronmaschinen ... ...
- 10.2 Bestimmung der Erregungsverluste bei Synchronmaschinen ... ...
- 10.3 Bestimmung der Lastverluste bei Synchronmaschinen ... ...
- 10.4 Ausführungsregeln zur Bestimmung der Eisen-, mechanischen und Zusatzverluste bei Synchronmaschinen ... ...

11 Bestimmung der Einzelverluste bei Mehrphasen-Induktionsmaschinen ... ...
- 11.1 Bestimmung der Leerverluste bei Mehrphasen-Induktionsmaschinen ... ...
- 11.2 Bestimmung der Lastverluste bei Mehrphasen-Induktionsmaschinen ... ...

12 Bestimmung der Einzelverluste bei Gleichstrommaschinen ... ...
- 12.1 Bestimmung der Leerverluste bei Gleichstrommaschinen ... ...
- 12.2 Bestimmung der Erregungsverluste bei Gleichstrommaschinen ... ...
- 12.3 Bestimmung der Lastverluste bei Gleichstrommaschinen ... ...
- 12.4 Bestimmung des Wirkungsgrades von Gleichstrommaschinen mit Hilfe des Rückarbeitsverfahrens ... ...

13 Spannung und Spannungsänderung ... ...
- 13.1 Spannungsbereich ... ...
- 13.2 Definitionen ... ...
- 13.3 Sinusform von Spannungskurven ... ...
- 13.4 Bestimmung der Potierspannung ... ...
- 13.5 Bestimmung des Erregerstromes und der Spannungsänderung ... ...

14 Kurzschluss (nur für Synchronmaschinen) ... ...
- 14.1 Allgemeines ... ...
- 14.2 Definitionen ... ...
- 14.3 Kurzschlussprobe ... ...

15 Überlastung ... ...
- 15.1 Allgemeines ... ...
- 15.2 Das Kippmoment von Induktionsmaschinen ...

Seite

16 Anlauf (nur für Induktionsmaschinen) ... ...
16.1 Definitionen ... ...
16.2 Durchzugsmoment ... ...
16.3 Bestimmung der Anlaufcharakteristiken ... ...

17 Mechanische Versuche und Vorschriften ... ...
17.1 Drehsinn ... ...
17.2 Maschinen für beide Drehrichtungen ... ...
17.3 Schleuderprüfung ... ...

18 Kommutation ... ...
18.1 Kommutation bei Gleichstrommaschinen ... ...

19 Klemmen ... ...
19.1 Anordnung der Klemmen in einer Ebene parallel zur Ausrichtung (wird für kleine Maschinen verwendet) ... ...
19.2 Anordnung der Klemmen in einer Ebene senkrecht zur Achsrichtung (wird für grosse Maschinen verwendet) ... ...
19.3 Ausnahmefälle ... ...
19.4 Erdungsklemme ... ...

20 Toleranzen und Garantien ... ...
20.1 Definition ... ...
20.2 Anwendung ... ...

21 Ursprungszeichen und Schilder ... ...
21.1 Ursprungszeichen ... ...
21.2 Leistungsschild ... ...
21.3 Mehrfache Stempelungen ... ...

1 Einleitung

1.1 Zweck

Diese Regeln haben den Zweck, die in Bestellungen von elektrischen Maschinen festzusetzenden Betriebsdaten und Garantien auf eine einheitliche Grundlage zu stellen und die Methoden zu deren Überprüfung zu definieren.

1.2 Geltungsbereich

Diese Regeln gelten ohne Einschränkung durch Spannung oder Leistung für rotierende Maschinen und Maschinensätze, soweit besondere Vorschriften oder Regeln nichts anderes bestimmen.

Ausgenommen von diesen Regeln sind für Bahn- und andere Fahrzeuge bestimmte Maschinen.

Da wo einzelne Bestimmungen nur für bestimmte Maschinenarten gelten, ist dies ausdrücklich angegeben.

Es wird vorausgesetzt, dass die Maschinen unter folgenden Bedingungen arbeiten:

a) *Höhe des Aufstellungsortes.* Fehlen besondere Vereinbarungen, so wird angenommen, dass die Höhe, in welcher die Maschine gebraucht werden soll, nicht mehr als 1000 m ü. M. beträgt. Ist die Maschine für grössere Höhen bestimmt, so sind besondere Vereinbarungen zu treffen.

b) *Temperatur des Kühlmittels.* Fehlen besondere Vereinbarungen, so wird angenommen, dass die Temperatur der Kühlluft oder des Kühlgases 40 °C, die Temperatur des Kühlwassers 25 °C nicht übersteigt.

Für Maschinen, deren Kühlmitteltemperatur von den genannten Bezugstemperaturen abweicht, gilt Ziff. **7.11**.

Bemerkung:

Den Maschinen sollen im Betrieb keine Belastungen, welche die Nennlast überschreiten, oder Betriebsbedingungen, welche von den Nennbedingungen abweichen, zugemutet werden, es sei denn, man habe sich vergewissert, dass sie diesen Bedingungen genügen können (siehe auch Ziff. **15.1**).

c) *Symmetrie der Mehrphasensysteme.* Fehlen besondere Vereinbarungen, so wird angenommen, dass alle in den Maschinen auftretenden Mehrphasensysteme von Strom und Spannung praktisch symmetrisch sind (siehe Ziff. **2.5.2**).

d) *Kurvenform der Primärspannung von Wechselstrommaschinen.* Fehlen besondere Vereinbarungen, so wird angenommen, dass die Maschine an ein Netz von praktisch sinusförmiger Spannung angeschlossen wird (siehe Ziff. **2.5.3**).

1.3 Buchstabensymbole und Zeichen

Die verwendeten Buchstabensymbole und Zeichen sind in der SEV-Publikation Nr. 0192 df, Regeln und Leitsätze für Buchstabensymbole und Zeichen, festgelegt.

2 Definitionen

2.1 Maschinenarten

Synchronmaschinen sind Wechselstrommaschinen, bei denen die Frequenz der induzierten Spannungen und die Drehzahl in einem konstanten Verhältnis stehen.

Asynchronmaschinen sind Wechselstrommaschinen, deren Drehzahl kein festes Verhältnis zur Netzfrequenz hat und sich mit der Last ändert.

Induktionsmaschinen sind asynchrone Wechselstrommaschinen ohne Kommutator, in welchen nur ein Teil (normalerweise der Stator) an das Netz angeschlossen ist, während der andere Teil (normalerweise der Rotor) Strom durch elektromagnetische Induktion erhält. Statt «Induktionsmotor» benützt man oft den Ausdruck «Asynchronmotor».

Gleichstrommaschinen sind Kommutatormaschinen mit einer durch Gleichstrom erregten Feldwicklung oder mit Permanentmagneten.

Turbomaschinen sind durch Dampf- oder Gasturbinen angetriebene Wechselstromgeneratoren mit zylindrischem Rotor, ferner alle anderen elektrischen Maschinen gleichartiger Konstruktion mit grosser Drehzahl.

Käfig(anker)motoren sind Induktionsmotoren, deren Rotorwicklung aus Stäben besteht, die an den Enden durch Ringe kurzgeschlossen sind.

Motoren mit gewickeltem Rotor sind Induktionsmotoren, deren mehrphasige Rotorwicklung entweder an Schleifringe (**«Schleifring(anker)motor»**) oder an die Klemmen eines Zentrifugalanlassers (**«Motor mit Zentrifugalanlasser»**) angeschlossen ist.

2.2 Arbeitsart

Ein **Generator** ist eine rotierende Maschine, die mechanische Leistung in elektrische Leistung umwandelt.

Ein **Motor** ist eine rotierende Maschine, die elektrische Leistung in mechanische Leistung umwandelt.

Eine **Blindleistungsmaschine** (Phasenschieber) ist eine rotierende Maschine, die vorwiegend Blindleistung abgibt oder aufnimmt.

Ein **Umformer** ist eine rotierende Maschine oder ein Maschinensatz zur Umwandlung elektrischer Leistung in elektrische Leistung anderen Stromsystems, anderer Spannung oder anderer Frequenz.

2.3 Bestandteile

Stator (Ständer) ist der feststehende, **Rotor** (Läufer) der umlaufende Teil der Maschine. **Anker** ist der Teil der Maschine, in dessen Wicklungen durch relative Drehung gegen ein magnetisches Feld elektrische Spannungen erzeugt werden. Induktionsmaschinen besitzen Primäranker und Sekundäranker. Der Primäranker ist mit dem spannunghaltenden Netz verbunden. **Erregerwicklung** (Feldwicklung) ist der Teil der Maschine, in dem der das magnetische Feld erzeugende Strom fliesst.

2.4 Nennbetrieb

Der Nennbetrieb einer elektrischen Maschine ist bestimmt durch die Betriebsart (siehe Ziff. **4.1**) und die Betriebsgrössen, die ihm der Hersteller zuspricht, nämlich durch die Nennbetriebsart und durch die Nennwerte von Leistung, Drehzahl, Spannung, Strom, Frequenz, Leistungsfaktor, Kühlmitteltemperatur usw., nach den Angaben auf dem Leistungsschild (siehe auch Ziff. **13.1**, Spannungsbereich).

2.5 Spannung und Strom

2.5.1 *Allgemeines*

Der Begriff **Wechselstrom** umfasst sowohl Einphasenstrom, als auch Mehrphasenstrom.

Spannungs- und Stromangaben bedeuten bei Wechselstrom **Effektivwerte**, bei Gleichstrom **Gleichwerte**, sofern nichts anderes angegeben ist.

2.5.2 *Symmetrie*

Ein Mehrphasen-Spannungssystem (bzw. Mehrphasen-Stromsystem) gilt als praktisch **symmetrisch**, wenn weder das Gegensystem noch das Nullsystem mehr als 2 % (bzw. 5 %) des Mitsystems betragen.

Bei praktisch symmetrischen Mehrphasensystemen gilt als Spannung (bzw. Strom) das arithmetische Mittel der Effektivwerte der Spannungen (bzw. Ströme) der verschiedenen Phasen.

2.5.3 *Sinusform von Spannungskurven*

Eine Spannung gilt als praktisch **sinusförmig**, wenn keiner ihrer Momentanwerte vom Momentanwert gleicher Phase der Grundwelle (1. Harmonische) um mehr als 5 % des Grundwellenscheitelwertes abweicht.

Bemerkung:

Zur Bestimmung der Grundwelle einer Spannungskurve gibt es verschiedene Methoden. Z. B. kann sie mit elektrischen Siebkreisen herausgesiebt werden, oder sie lässt sich mit einem harmonischen Analysator aus der

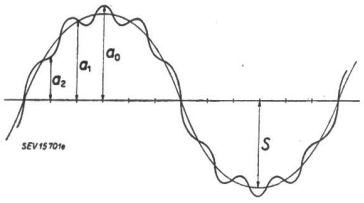


Fig. 1
Sinusform von Spannungskurven

oszillographisch aufgenommenen Spannungskurve ermitteln. Wertet man die Grundwelle nach einer graphisch-analytischen Methode aus der oszillographisch aufgenommenen Spannungskurve aus, so sind mindestens 12 Punkte einer Periode dieser Spannungskurve zu benutzen. Für Kurven, die in allen Viertelperioden symmetrisch sind, findet man den Scheitelwert der Grundwelle aus der Formel

$$S = \frac{a_0 + \sqrt{3}\, a_1 + a_2}{3}$$

wo a_0 der in der Symmetrielinie liegende Augenblickswert ist, und a_1 und a_2 benachbarte Augenblickswerte sind, die von dem erstgenannten um $^1/_{12}$ und $^2/_{12}$ der Periode entfernt liegen (Fig. 1).

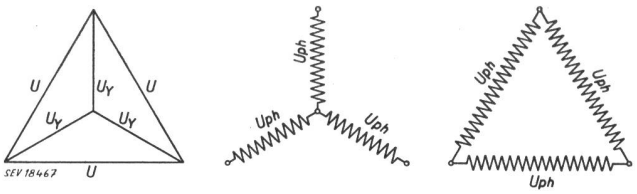
2.5.4 *Spannung und Strom bei Dreiphasenmaschinen (Drehstrommaschinen)*

Die **verkettete Spannung** oder kurz **Spannung** ist die Spannung von Hauptklemme zu Hauptklemme.

Die **Sternspannung** ist die Spannung vom (eventuell nur gedachten) Sternpunkt zu einer Hauptklemme. Die Hauptklemmen (in der Publ. 0159 des SEV, Genormte Werte für Spannungen, Frequenzen und Ströme, wird der Ausdruck «die Pole» gebraucht) sind die Anschlußstellen des Netzes.

Unter **Strom** wird derjenige Strom der Maschine verstanden, welcher durch eine Hauptklemme fliesst; besteht die Hauptklemme aus mehreren Einzelklemmen, so ist der Strom gleich der Summe der Einzelströme.

Erläuterung: Zur Unterscheidung der Spannungsdefinitionen von dem in diesen Regeln nicht verwendeten Begriff der *Phasenspannung*, der oft zu Missverständnissen Anlass gibt, seien die Definitionen durch die folgenden Figuren verdeutlicht:



U Verkettete Spannung (Spannung)
U_Y Sternspannung
U_{ph} Phasenspannung (Spannung zwischen den Klemmen einer Phasenwicklung einer Maschine)

2.5.5 *Spannung und Strom bei Zweiphasenmaschinen*

Die **Spannung** ist die an der Phasenwicklung liegende Spannung. Der **Strom** ist der in der Phasenwicklung fliessende Strom.

2.6 Leistung

2.6.1 *Scheinleistung*

Die **Scheinleistung einer Einphasenmaschine** ist das Produkt aus Spannung und Strom.

Die **Scheinleistung einer Mehrphasenmaschine** mit praktisch symmetrischen Spannungen und Strömen ist das Produkt aus Spannung, Strom und Phasenfaktor (bei Drehstrom gleich $\sqrt{3}$). Dabei sind die arithmetischen Mittel der Effektivwerte der Spannungen und Ströme der verschiedenen Phasen einzusetzen (siehe Ziff. **2.5.2**).

Als Einheiten der Scheinleistung werden das Voltampère (VA), das Kilovoltampère (kVA) oder das Megavoltampère (MVA) benützt.

2.6.2 *Blindleistung*

Die **Blindleistung** einer Einphasenmaschine oder einer Mehrphasenmaschine mit praktisch symmetrischen Spannungen und Strömen ist dem absoluten Betrage nach definiert durch die Formel

$$\text{Blindleistung} = \sqrt{\text{Scheinleistung}^2 - \text{Wirkleistung}^2}$$

Im weiteren wird als Sprachgebrauch festgelegt, dass eine übererregte Synchronmaschine wie ein Kondensator Blindleistung abgibt, während eine untererregte Synchronmaschine wie eine Drosselspule Blindleistung aufnimmt.

Als Einheiten der Blindleistung werden das Var (Var), das Kilovar (kVar) und das Megavar (MVar) benützt.

Erläuterung: Die Ausdrücke «kapazitive Blindleistung» und «induktive Blindleistung» sollen nicht verwendet werden, dagegen «abgegebene Blindleistung» und «aufgenommene Blindleistung» nach der gegebenen Definition. Nach ihr gibt es nur *eine* Art Blindleistung.

2.6.3 *Wirkleistung*

Als Einheiten der **Wirkleistung** und der **mechanischen Leistung** werden das Watt (W), das Kilowatt (kW) und das Megawatt (MW) benützt.

Bemerkung:

In der Praxis braucht man für die mechanische Leistung noch oft die Pferdestärke (1 PS = 0,736 kW); die Commission Electrotechnique Internationale empfiehlt jedoch ausschliesslich das Watt und seine dezimalen Vielfachen.

2.6.4 *Nennleistung*

Die **Nennleistung** eines **Synchron-Generators** ist die *Schein*leistung, die Nennleistung eines **Induktions-Generators** ist die *Wirk*leistung, beide gemessen an den Klemmen bei Nennbetrieb.

Die **Nennleistung** eines **Gleichstromgenerators** ist die an den Klemmen abgegebene Leistung bei Nennbetrieb.

Die **Nennleistung** eines **Motors** ist die bei Nennbetrieb an der Welle abgegebene mechanische Leistung.

2.6.5 *Abgegebene und aufgenommene Leistung*

Die **abgegebene Leistung** ist bei Generatoren die an den Klemmen an das Netz abgegebene Wirkleistung, bei Motoren die an der Welle abgegebene mechanische Nutzleistung und

bei Umformern die an den Sekundärklemmen abgegebene Wirkleistung.

Die **aufgenommene Leistung** ist bei Generatoren die an der Welle aufgenommene mechanische Leistung, bei Motoren die an den Klemmen und bei Umformern die an den Primärklemmen aufgenommene Wirkleistung, einschliesslich der Erregungsverluste bei Fremderregung.

2.7 Leistungsfaktor

Der **Leistungsfaktor** ($\cos \varphi$) ist bei praktisch sinusförmigen Spannungen und Strömen gleich dem Quotienten aus Wirkleistung und Scheinleistung.

2.8 Wirkungsgrad

Der **Wirkungsgrad** η einer Maschine oder eines Maschinensatzes ist das Verhältnis von abgegebener Leistung zu aufgenommener Leistung gemäss Ziff. 2.6.

2.9 Erregung

Selbsterregung einer Maschine ist Erregung durch einen Strom, den sie selbst oder das Netz liefert, an dem ihr Anker liegt.

Eigenerregung einer Maschine ist Erregung durch einen Generator, der im wesentlichen diesem Zweck dient und mit der Welle der Hauptmaschine mechanisch (direkt oder über Getriebe) oder elektrisch (über elektrische Welle) gekuppelt ist.

Fremderregung einer Maschine ist Erregung durch eine von ihr unabhängige Energiequelle.

2.10 Drehmomente

Anzugsmoment eines Motors ist das kleinste stationäre Drehmoment, das er im Stillstand in allen möglichen Rotorstellungen entwickelt, wenn er mit Nennspannung bei Nennfrequenz gespeist wird.

Durchzugsmoment eines Motors ist das kleinste von ihm während der Beschleunigungsperiode vom Stillstand bis zu voller Nenndrehzahl entwickelte Drehmoment, wenn er mit Nennspannung bei Nennfrequenz gespeist wird.

Intrittfallmoment eines Synchronmotors ist das höchste konstante Lastdrehmoment, unter welchem er die gekuppelten Schwungmassen bei Nennspannung und Nennfrequenz in Tritt zieht, wenn die Erregung eingeschaltet wird.

Kippmoment eines Motors ist das grösste Drehmoment, das er bei Nennspannung und Nennfrequenz bei langsamer Zunahme des Lastdrehmomentes entwickeln kann, ohne zum Stillstand zu kommen oder die Drehzahl plötzlich zu ändern.

Erläuterungen:

Bei diesen Definitionen ist vorausgesetzt, dass die Maschinen mit den zum ordnungsmässigen Anlauf oder Betrieb nötigen Apparaten zusammengeschaltet sind.

Zu «Anzugsmoment» und «Durchzugsmoment»:

Kommt bei einem Synchronmotor nur vor, wenn er für asynchronen Anlauf vorgesehen ist.

Zu «Intrittfallmoment»:

Die Drehzahl, auf welche ein Motor im unerregten Zustand seine Last bringen kann, ist von dem für diese erforderlichen Drehmoment abhängig. Ob dann der Motor seine Last von dieser Drehzahl aus in Tritt ziehen kann, hängt vom Massenträgheitsmoment der drehenden Teile ab. Je nach der Grösse des Massenträgheitsmomentes werden deshalb grössere oder kleinere Intrittfallmomente benötigt.

2.11 Kühlungs- und Ventilationsarten

Selbstkühlung: Das Kühlmittel wird durch die rotierenden Teile der Maschine ohne Zuhilfenahme eines Ventilators bewegt.

Eigenventilation: Das Kühlmittel wird durch einen am Rotor angebrachten oder von ihm angetriebenen Ventilator bewegt.

Fremdventilation: Das Kühlmittel wird durch mit separaten Antriebsmotoren angetriebene Ventilatoren bewegt.

Kreislaufkühlung: Das Kühlmittel wird in einem geschlossenen Kreislauf bewegt und in einem Kühler gekühlt.

Direkte Wasserkühlung: Die Maschine wird unmittelbar durch fliessendes Wasser gekühlt.

Bemerkung:

Eine Maschine, bei der nur die Lager wassergekühlt sind, fällt nicht in diese Gruppe.

2.12 Drehzahlverhalten

Nach der Abhängigkeit der Drehzahl von der abgegebenen Leistung werden unterschieden:

Motoren mit **gleichbleibender Drehzahl.** Die Drehzahl ist von der abgegebenen Leistung unabhängig (z. B. Synchronmotoren).

Motoren mit **fast gleichbleibender Drehzahl** (Nebenschlussverhalten). Die Drehzahl ändert sich nur wenig mit der abgegebenen Leistung (z. B. Nebenschluss- und Induktionsmotoren).

Motoren mit **stark veränderlicher Drehzahl** (Reihenschlussverhalten). Die Drehzahl steigt bei Entlastung stark an (z. B. Reihenschluss- und Repulsionsmotoren).

Bemerkung:

Zwischen Motoren mit fast gleichbleibender und solchen mit stark veränderlicher Drehzahl gibt es Zwischenstufen, z. B. Motoren mit Doppelschlusswicklung, Nebenschlussmotoren sehr kleiner Leistung und Repulsionsmotoren mit Dämpferwicklung.

2.13 Drehzahländerung

Drehzahländerung eines Motors ist die Drehzahlerhöhung bei allmählichem Übergang von Nennbetrieb auf Leerlauf. Dabei müssen bei Wechselstrommotoren Spannung und Frequenz und bei Gleichstrommotoren Klemmenspannung und Strom in Fremd- und Nebenschlusserregerwicklung unverändert bleiben.

Die Drehzahländerung wird in % der Nenndrehzahl angegeben:

$$\varepsilon = \frac{n_0 - n_n}{n_n} \cdot 100\ \%$$

worin n_n Drehzahl im Nennbetrieb
n_0 Drehzahl im Leerlauf

2.14 Schlupf

Schlupf ist die Differenz zwischen der synchronen Drehzahl n_{syn} und der Drehzahl n und wird üblicherweise in % der synchronen Drehzahl angegeben:

$$s = \frac{n_{syn} - n}{n_{syn}} \cdot 100\ \%$$

3 Genormte Werte

3.1 Frequenzen

Genormte Nennfrequenzen sind 50 und 16⅔ Hz.

3.2 Spannungen

Als genormte Nennspannungen gelten für Motoren die in der Publikation Nr. 0159 des SEV, Genormte Werte für Spannungen, Frequenzen und Ströme, angeführten Werte; für Generatoren und Blindleistungsmaschinen gelten durchwegs 5 % höhere Spannungen.

3.3 Drehzahlen

Die genormten Polzahlen und Synchron-Drehzahlen für Wechselstrommaschinen von 50 Hz sind in Tabelle I angegeben.

Tabelle I

Polzahl	Drehzahl U./min	Polzahl	Drehzahl U./min
2	3000	24	250
4	1500	(28)	($214^2/_7$)
6	1000	32	$187^1/_2$
8	750	(36)	($166^2/_3$)
10	600	40	150
12	500	48	125
(14)	($428^4/_7$)	(56)	($107^1/_7$)
16	375	64	$93^3/_4$
(18)	($333^1/_3$)	(72)	($83^1/_3$)
20	300	80	75

( ) Die eingeklammerten Werte sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

Für Gleichstrommaschinen gelten so weit als möglich die gleichen Drehzahlen.

3.4 Leistungsfaktoren
(nur für Synchronmaschinen)

Als genormte Leistungsfaktoren für Synchrongeneratoren gelten:

1,0 0,8 0,7

Sofern nichts anderes angegeben ist, wird vorausgesetzt, dass der Nennleistungsfaktor

bei Synchrongeneratoren 0,8
bei Synchronmotoren 1,0

beträgt.

Bemerkung:

Die Werte 0,7 und 0,8 gelten für übererregten Betrieb des Generators.

4 Nennbetriebsarten

4.1 Einteilung

Es werden unterschieden:

a) der Dauernennbetrieb
b) der kurzzeitige Nennbetrieb
c) der aussetzende Nennbetrieb
d) der Dauernennbetrieb mit aussetzender Belastung

Die Nennbetriebsart muss auf dem Leistungsschild angegeben werden, wobei die Abkürzungen nach Tabelle II zu verwenden sind. Fehlt eine Angabe, so wird angenommen, die Maschine sei für Dauernennbetrieb nach Ziff. 4.2 bestimmt.

Tabelle II

	Nennbetriebsart	Kurzzeichen
a	Dauernennbetrieb	DB
b	kurzzeitiger Nennbetrieb	KB
c	aussetzender Nennbetrieb	AB
d	Dauernennbetrieb mit aussetzender Belastung	DAB
	zu c: Relative Einschaltdauer	ED
	zu d: Relative Belastungsdauer	

4.2 Dauernennbetrieb (DB)

Der Dauernennbetrieb ist der Betrieb, welcher unter Nennleistung und den andern Nennbedingungen während unbegrenzter Dauer aufrecht erhalten werden kann, ohne dass die in Ziff. 7.9 festgesetzten Grenzerwärmungen überschritten werden. Es gelten ferner alle andern anwendbaren Vorschriften der vorliegenden Regeln.

4.3 Kurzzeitiger Nennbetrieb (KB)

Der kurzzeitige Nennbetrieb ist der Betrieb, welcher beim Versuch unter Nennleistung und den anderen Nennbedingungen, ausgehend von kalter Maschine, während der für ihn vorgeschriebenen Dauer aufrecht erhalten werden kann, ohne dass die in Tabelle III festgesetzten Grenzerwärmungen um mehr als 10 °C bei Klasse A, E und B, bzw. um 15 °C bei Klasse F und H überschritten werden. Die zu vereinbarende Betriebsdauer ist so kurz, dass die Beharrungstemperatur nicht erreicht wird; genormte Werte sind 10, 30, 60 und 90 Minuten.

4.4 Aussetzender Nennbetrieb (AB)

Der aussetzende Nennbetrieb ist der Betrieb, welcher beim Versuch unter Nennleistung und unter den anderen Nennbedingungen in regelmässigem Spiel von Belastung und Entlastung während unbegrenzter Dauer aufrecht erhalten werden kann, ohne dass nach Ablauf der Hälfte der letzten Belastungsdauer die in Tabelle III festgesetzten Grenzerwärmungen überschritten werden und ohne dass am Ende der letzten Belastungsdauer diese Grenzerwärmungen um mehr als 10 °C bei Klasse A, E und B, bzw. um 15 °C bei Klasse F und H überschritten werden. Während der Entlastung ist die Maschine vom Netz abgeschaltet und spannungslos. Fehlen besondere Vereinbarungen, so beträgt die Spieldauer beim Versuch 10 Minuten. Die relative Einschaltdauer, d. h. das Verhältnis von Einschaltdauer zu Spieldauer, ist zu vereinbaren; genormte Werte der relativen Einschaltdauer sind 15, 25, 40 und 60 %.

4.5 Dauernennbetrieb mit aussetzender Belastung (DAB)

Der Dauernennbetrieb mit aussetzender Belastung entspricht dem aussetzenden Nennbetrieb nach Ziff. 4.4, wenn die Maschine im regelmässigen Spiel während der Entlastungsperiode unter Spannung bleibt. Es gelten die gleichen Bedingungen über die Grenzerwärmungen wie in Ziff. 4.4. Die relative Belastungsdauer, d. h. das Verhältnis von Belastungsdauer zu Spieldauer, ist zu vereinbaren; genormte Werte der relativen Belastungsdauer sind 15, 25, 40 und 60 %.

Bemerkung zu Ziff. 4.3...4.5:

Praktisch sind die Betriebsarten sowohl in der Belastungshöhe, als auch in der Spieldauer und deren Aufteilung meist unregelmässig. Die Betriebsdauer (bei KB) oder die Spieldauer und relative Einschaltdauer (bei AB) oder relative Belastungsdauer (bei DAB), die der Wahl der Nennbetriebsart und damit dem Versuch zugrunde zu legen sind, müssen aus einer genügend langen Betriebsperiode ermittelt werden, wobei Beschleunigungs- und Bremsarbeiten gebührend zu berücksichtigen sind. Es wird vorausgesetzt, dass die wirklichen Belastungsverhältnisse während der totalen Betriebsdauer keine höheren Erwärmungen hervorrufen als die vorgeschriebenen Grenzerwärmungen, deren Einhaltung durch den Versuch bei Nennleistung und bei der Nennbetriebsart festgestellt wird.

5 Schutzarten

(Dieses Kapitel wird später behandelt)

6 Allgemeine Bestimmungen über die Prüfung

6.1 Prüfungen

Die Prüfungen nach diesen Regeln sind, wenn immer möglich, in den Werkstätten des Herstellers an der neuen, trockenen, betriebsfertig eingelaufenen Maschine vorzunehmen; Prüfungen an anderen Orten sind dann zulässig, wenn auch dort die Gewähr für die richtige Messung und Beachtung der Vorschriften gegeben ist.

Maschinen sind mit ihren Ventilationsvorrichtungen zu prüfen.

Die Schutzart der Maschine darf für die Erwärmungsprüfung nicht geändert werden.

6.2 Bürstenstellung

Die Bestimmungen über die Prüfung von Maschinen gelten unter der Annahme, dass sich bei Maschinen mit fester Bürstenstellung die Bürsten in der für Nennbetrieb vorgeschriebenen Stellung befinden und ihre Stellung auch während der Prüfung unverändert bleibt.

Der Hersteller kennzeichnet die Betriebsstellung durch Marken.

Bei Gleichstrommaschinen mit Wendepolen sollen die Bürsten im allgemeinen in der neutralen Zone stehen. Wegen der Kommutation oder der gewünschten Charakteristiken können die Bürsten bei Maschinen für nur *eine* Drehrichtung aus der neutralen Zone verschoben sein.

Die Bürsten einer Gleichstrommaschine stehen in der neutralen Zone, wenn die Kommutatorspannung im Leerlauf am höchsten ist.

Es sind im folgenden einige Methoden zur Bestimmung der neutralen Zone beschrieben, und zwar in der Reihenfolge zunehmender Genauigkeit.

6.2.1 *Drehmomentmethode*

Bei gut eingeschliffenen Bürsten speist man Anker-, Wendepol- und Kompensationswicklung mit Nennstrom, die Erregerwicklungen sind unerregt. Wenn die Bürsten genügend aus der neutralen Zone entfernt stehen, dreht sich der Rotor im gleichen Sinn, wie die Bürsten aus der neutralen Zone verschoben sind. Die Bürstenbrücke wird nun entgegen der Rotordrehrichtung solange gedreht, bis der Rotor stillsteht. Diese Stellung wird markiert. Bei weiterem Verschieben der Bürstenbrücke beginnt der Rotor sich im umgekehrten Sinn zu

drehen. Schiebt man nun die Bürstenbrücke wieder zurück, so erhält man wiederum eine Stellung, wo der Rotor stillsteht. Das Mittel der beiden Stellungen ist die neutrale Zone.

6.2.2 *Induktionsmethode*

Die betriebsmässigen Bürsten werden abgehoben. In je einen Bürstenhalter eines jeden Stiftes wird eine Hilfsbürste mit tangential auf 2...3 mm verringerter, in der Mitte der Bürste liegender Schleiffläche eingesetzt. Man speist bei stillstehender Maschine die Erregerwicklung mit etwa 20 % des Nennerregerstromes und misst die beim Einschalten des Erregerstromes an den Bürsten induzierte Spannung mit einem Drehspulmessgerät. Die Spannung wird in Funktion der Bürstenstellung aufgetragen, die Ausgleichsgerade der Messpunkte ergibt für die Spannung Null die neutrale Zone.

Bei geringen Ansprüchen an die Genauigkeit kann diese Methode auch mit normalen, gut eingeschliffenen Bürsten durchgeführt werden.

6.2.3 *Erregung der Wendepolwicklung*

Wie bei der Induktionsmethode (Ziff. **6.2.2**) wird die Maschine mit zugespitzten Bürsten versehen. Wendepol- und Kompensationswicklung werden mit Nennstrom gespeist, die Maschine wird mit konstanter Drehzahl, etwa 2...3 % der Nenndrehzahl, angetrieben. Man verschiebt die Bürstenbrücke, bis zwischen den Hilfsbürsten keine Spannung mehr auftritt. Das Verfahren wird mit beiden Stromrichtungen und in beiden Drehrichtungen durchgeführt, das Mittel der vier Stellungen ist die neutrale Zone.

7 Erwärmung

7.1 Definition des Begriffes Erwärmung

Die Erwärmung eines Maschinenteils ist bei den Betriebsarten Dauernennbetrieb (DB), aussetzender Nennbetrieb (AB) und Dauernennbetrieb mit aussetzender Belastung (DAB) der Unterschied zwischen seiner Temperatur und der des zutretenden Kühlmittels; bei der Betriebsart kurzzeitiger Nennbetrieb (KB) ist sie der Unterschied seiner Temperatur am Ende und bei Beginn der Prüfung (siehe auch Ziff. **7.9**).

7.2 Dauer des Erwärmungsversuches

7.2.1 *Maschinen für Dauernennbetrieb* (siehe Ziff. **4.2**)

Bei Maschinen für Dauernennbetrieb wird der Erwärmungsversuch so lange fortgesetzt, bis festgestellt werden kann, dass die höchste Erwärmung die in Tabelle III festgesetzten Grenzen auch dann nicht überschreiten würde, wenn der Versuch bis zur Erreichung des Beharrungszustandes fortgesetzt würde. Wenn möglich werden die Temperaturen während des Laufes und nach Stillsetzung gemessen. Der Erwärmungsversuch kann als beendigt angesehen werden, wenn die Erwärmung pro Stunde um nicht mehr als 2 °C zunimmt. Er kann bei warmer oder kalter Maschine begonnen werden.

Bemerkung:

Zur Bestimmung der Enderwärmung wird die in Fig. 2 angedeutete Methode empfohlen. In Fig. 2 wird die Erwärmung ausnahmsweise mit ϑ statt mit $\Delta\vartheta$ bezeichnet.

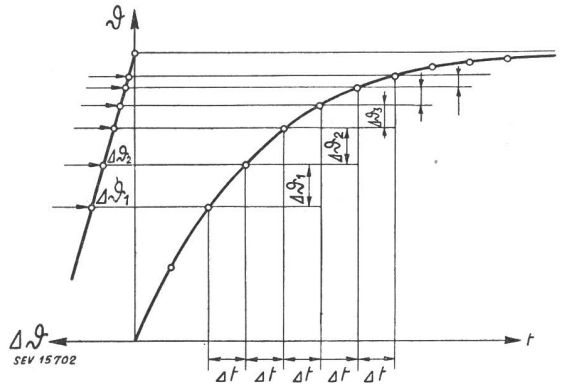


Fig. 2
Methode zur Bestimmung der Enderwärmung bei Maschinen für Dauerbetrieb

ϑ Erwärmung; $\Delta\vartheta$ Erwärmungszunahme
t Zeit; Δt Zeitintervalle

7.2.2 *Maschinen für kurzzeitigen Nennbetrieb* (siehe Ziff. **4.3**)

Bei Maschinen für kurzzeitigen Nennbetrieb entspricht die Versuchsdauer dem kurzzeitigen Nennbetrieb nach Angabe des Leistungsschildes. Bei Versuchsbeginn muss die Maschinentemperatur praktisch gleich der Umgebungstemperatur sein («kalte Maschine»).

7.2.3 *Maschinen für aussetzenden Nennbetrieb und Dauernennbetrieb mit aussetzender Belastung* (siehe Ziff. **4.4** und **4.5**)

Bei Maschinen für aussetzenden Nennbetrieb und für Dauernennbetrieb mit aussetzender Belastung wird der Erwärmungsversuch so lange fortgesetzt, bis festgestellt werden kann, dass die Grenzerwärmung (siehe Ziff. **4.4** und **4.5**) bei Fortsetzen des Versuches bis zum Erreichen des Beharrungszustandes nicht überschritten würde. Der Erwärmungsversuch kann als beendigt angesehen werden, wenn die Erwärmung pro Stunde um nicht mehr als 2 °C zunimmt. Er kann bei warmer oder kalter Maschine begonnen werden.

7.3 Temperaturmessmethoden

Zur Bestimmung der Temperatur der Wicklungen und der anderen Teile sind drei Methoden zulässig:

a) Thermometermethode
b) Widerstandsmethode
c) Methode der eingebetteten elektrischen Thermometer

7.3.1 *Thermometermethode*

Die Temperatur wird mit Thermometern gemessen, die auf den zugänglichen Oberflächen der betriebsfertigen Maschine angebracht werden. Der Ausdruck «Thermometer» umfasst neben den Flüssigkeits-Glasthermometern (mit Alkohol- oder Quecksilberfüllung) auch die nicht eingebauten Thermoelemente und Widerstandsthermometer (aus Metallen oder Halbleitern).

An Stellen, wo veränderliche oder umlaufende Magnetfelder vorhanden sind, sind als Flüssigkeits-Glasthermometer solche mit Alkoholfüllung zu verwenden. Thermometer mit Quecksilberfüllung zeigen unter solchen Einflüssen nicht zuverlässig.

In allen Fällen muss für möglichst gute Wärmeübertragung von der Meßstelle auf das Thermometer und für geringste störende Wärmeableitung von der Meßstelle gesorgt werden. Die Meßstelle darf vom Kühlmittel nicht bestrichen werden. Bei Messung von Oberflächentemperaturen sind daher Meßstelle und Thermometer gemeinsam mit einem schlechten Wärmeleiter zu bedecken, doch ist ein Wärmestau zu vermeiden.

Den genannten Bedingungen kann für die Messung der Temperaturen an Kommutatoren und Schleifringen mit Flüssigkeits-Glasthermometern nur schwer genügt werden. Es sind hiefür elektrische Thermometer geeigneter Formgebung vorzuziehen. Mit Flüssigkeits-Glasthermometern werden in jedem Fall zu niedrige Temperaturen gemessen, unter Umständen um einen beträchtlichen Betrag.

7.3.2 *Widerstandsmethode*

Die Erwärmung $\Delta\vartheta$ von Wicklungen aus Kupfer oder Aluminium wird aus deren Widerstandszunahme nach folgender Formel bestimmt:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1}(235 + \vartheta_1) + \vartheta_1 - \vartheta_a$$

Dabei bedeuten:

ϑ_2 Wicklungstemperatur am Ende des Versuches in °C
ϑ_a Temperatur des Kühlmittels am Ende des Versuches in °C
ϑ_1 Temperatur der (kalten) Wicklung, im Augenblick der Messung des Anfangswiderstandes in °C
R_2 Wicklungswiderstand am Ende des Versuches
R_1 Anfangswiderstand der (kalten) Wicklung.

Bei der Messung des Widerstandes im kalten und warmen Zustand sind soweit möglich die gleichen Präzisions-Messgeräte zu verwenden.

Die Widerstände der Ankerwicklungen von Gleichstrommaschinen werden wie folgt gemessen:

Über die betriebsmässigen, gut eingeschliffenen Bürsten wird die Ankerwicklung mit dem Meßstrom (ca. 10 % des Nennstromes) gespeist. An zwei etwa die halbe Polteilung voneinander entfernten Kommutatorlamellen, zwischen denen

keine von den Bürsten kurzgeschlossenen Windungen liegen, greift man mittels Spitzen den Spannungsabfall ab. Die benützten Lamellen sind zu markieren; bei der Messung des Widerstandes im kalten und warmen Zustand sind die gleichen Lamellen und die möglichst genau gleiche Rotorstellung zu verwenden.

Die Messung des Kalt-Widerstandes ist zu wiederholen, nachdem man den Rotor in der Drehrichtung, in der die Bürsten eingeschliffen sind, um mindestens eine Umdrehung in die ursprüngliche Lage gedreht hat. Misst man nicht den anfänglichen Wert (innerhalb der Meßstreuung), so muss die Ursache der Abweichung festgestellt, beseitigt und eine wiederholbare Messung erhalten werden.

Bei grossen Maschinen, wo das Verdrehen des Rotors schwierig ist, soll der Kalt-Widerstand in verschiedenen Rotorstellungen gemessen werden; dadurch besteht Gewähr, dass beim Stillsetzen des Rotors am Schluss des Erwärmungsversuches sich mindestens ein Paar markierter Lamellen zwischen zwei benachbarten Bürstenbolzen befindet. Man kann auch einfacher den Kalt-Widerstand erst nach dem Erwärmungsversuch messen.

Der Widerstand der Ankerwicklung zur Berechnung der Stromwärmeverluste (siehe Ziff. **12.3**) wird durch Umrechnung des gemessenen Spannungsabfalles auf die ganze Polteilung mittels folgender Gleichung bestimmt:

$$R_a = \frac{U_y}{I} \cdot \frac{K}{2\,p\,y}$$

Dabei bedeuten:

U_y Mittelwert des in mehreren Polteilungen über die gleiche Lamellenzahl abgegriffenen Spannungsabfalles bei konstantem Meßstrom I

I Meßstrom

K Anzahl der Kommutatorlamellen

$2p$ Polzahl

y Schritt zwischen den zur Messung von U_y verwendeten Kommutatorlamellen 1 und $1+y$.

Die beschriebene Messmethode ist für alle Wicklungsarten anwendbar, jedoch muss in gewissen Fällen der Meßschritt y zusätzlichen Bedingungen genügen. So kann z. B. bei zweigängigen Parallelwicklungen ohne eine genügende Anzahl Ausgleichsverbindungen zwischen den beiden Umgängen oder bei zweigängigen Froschbeinwicklungen (Kombination einer zweigängigen Parallelwicklung mit einer Seriewicklung) die Spannungs- und Stromverteilung auf die beiden Umgänge ungleich sein (sogar bei genau gleicher Rotorstellung nach jeder Umdrehung des Rotors wieder verschieden).

Man kann in diesem Fall den Ankerwiderstand aus dem Mittelwert der über beiden Umgängen gemessenen Spannungen und dem Gesamtstrom berechnen. Man misst demnach die Spannung zwischen den Lamellen 1 und $y+1$, ferner zwischen 2 und $y+2$ (worin y eine gerade Zahl, im übrigen entsprechend der oben gegebenen Methode) bei unveränderter Rotorstellung und berechnet das arithmetische Mittel beider. In der Formel für R_a ist dann für U_y das Mittel der für mehrere Polteilungen bestimmten Mittelwerte beider Umgänge einzusetzen, immer über dem gleichen Schritt y.

7.3.3 *Methode der eingebetteten elektrischen Thermometer*

7.3.3.1 Allgemeines

Unter «eingebetteten elektrischen Thermometern» werden Widerstandsthermometer oder Thermoelemente verstanden, die während der Fabrikation der Maschine an Stellen eingebaut werden, die nachher nicht mehr zugänglich sind.

Es werden mindestens sechs Thermometer in die Maschine eingebaut; diese müssen über den Umfang und die verschiedenen Phasen gut verteilt sein und sich an den in axialer Richtung voraussichtlich wärmsten Stellen der Nuten befinden. Jedes Thermometer muss mit der Fläche, deren Temperatur gemessen werden soll, innigen Kontakt haben und gegen den Einfluss des Kühlmittels wirksam geschützt sein. Es gilt der höchste angezeigte Wert.

7.3.3.2 Eine Spulenseite pro Nute

Wenn die Wicklung nur eine Spulenseite pro Nute besitzt, so sind über die Messmethode und die zulässigen Erwärmungen zwischen Hersteller und Käufer besondere Vereinbarungen zu treffen.

7.3.3.3 Zwei Spulenseiten pro Nute

Wenn die Wicklung aus zwei Spulenseiten pro Nute besteht, so müssen die elektrischen Thermometer im Innern der Nute zwischen den Spulenisolationen angebracht werden.

7.3.3.4 Mehr als zwei Spulenseiten pro Nute

Wenn die Wicklung aus mehr als zwei Spulenseiten pro Nute besteht, so muss jedes elektrische Thermometer zwischen den voraussichtlich wärmsten Spulenisolationen angebracht werden.

7.4 Anwendung der einzelnen Methoden zur Messung der Wicklungstemperatur

(siehe Ziff. **7.9**, Alinea 4)

Die *Thermometermethode* lässt sich in jenen Fällen anwenden, in denen weder die Methode der eingebetteten elektrischen Thermometer noch die Widerstandsmethode anwendbar ist, ferner in folgenden Fällen:

a) Wenn die Widerstandsmethode ungenau ist, z. B. bei Wendepol- und Kompensationswicklungen und allgemein bei Wicklungen mit geringem Widerstand, vor allem, wenn der Widerstand der Lötstellen und der Verbindungen einen wesentlichen Teil des Totalwiderstandes ausmacht.

b) Bei bewegten oder ruhenden einlagigen Wicklungen.

c) Wenn es sich um Versuche an einer Reihe ähnlicher Maschinen handelt, wird nur die Thermometermethode angewendet, auch wenn die Anwendung der Widerstandsmethode möglich wäre.

Die *Widerstandsmethode* ist im allgemeinen bei allen Erregerwicklungen und bei Ankerwicklungen der Maschinen, für welche keine eingebetteten elektrischen Thermometer vorgesehen sind, anzuwenden. Sie ist die bevorzugte Methode.

Die *Methode der eingebetteten elektrischen Thermometer* wird angewendet bei Wechselstrom-Statorwicklungen der Turbomaschinen mit einer Nennleistung von 5000 kVA oder mehr, bei Maschinen mit ausgeprägten Polen und bei Induktionsmaschinen mit einer Nennleistung von 5000 kVA oder mehr oder mit einer Statoreisenlänge von 1 m oder mehr.

7.5 Temperatur des Kühlmittels

Als Temperatur des Kühlmittels gilt:

a) bei Maschinen, die die Kühlluft dem Maschinenraum entnehmen, die Temperatur der umgebenden Luft;

b) bei Maschinen, denen die Kühlluft aus einem Raum unterhalb des Maschinenbodens oder durch besondere Leitungen zuströmt, die Temperatur der in die Maschine eintretenden Luft, gemessen an der Eintrittsstelle in die Maschine;

c) bei Maschinen mit Kreislaufkühlung je nach Vereinbarung entweder die Temperatur des in die Maschine eintretenden Kühlmittels, gemessen an der Eintrittsstelle in die Maschine, oder des in den Kühler eintretenden Kühler-Kühlmittels. Die Vereinbarung, welche der beiden Temperaturen als Bezugstemperatur für die Erwärmung gilt, muss bei der Offerte und bei der Bestellung getroffen und auf dem Leistungsschild der Maschine vermerkt werden (siehe Ziff. **21.2**, Punkt 18). Die Wahl der Temperatur des Kühler-Kühlmittels als Bezugstemperatur ist immer dann zweckmässig, wenn Maschine und Kühler vom gleichen Hersteller geliefert werden;

d) bei Maschinen mit direkter Wasserkühlung die Temperatur des in die Maschine eintretenden Kühlwassers, gemessen an der Eintrittsstelle in die Maschine.

Der Erwärmungsversuch der Maschine kann bei irgend einer Temperatur der Kühlluft oder des Kühlgases zwischen 10 und 40 °C auf jeder Meereshöhe unter 1000 m ü. M. (siehe Ziff. **1.2**) und bei jedem auf dieser Meereshöhe auftretenden Barometerstand durchgeführt werden, ohne dass die Messresultate zu korrigieren sind.

Bei Kreislaufkühlung und bei direkter Wasserkühlung kann der Versuch bei jeder Temperatur des Kühlwassers unter 25 °C durchgeführt werden, ohne dass die Messresultate zu korrigieren sind. Werden bei Maschinen mit Kreislaufkühlung Maschine und Kühlaggregat von verschiedenen Herstellern geliefert, so ist die Temperaturdifferenz zwischen dem den Kühler verlassenden Kühler-Kühlmittel (Luft oder Gas) und dem ihm zuströmenden Kühlwasser zu vereinbaren.

Bemerkung:

Grundsätzlich ist zu bemerken, dass eine tiefe Kühlmitteltemperatur die Lebensdauer der Maschine erhöht und daher anzustreben ist.

7.6 Messung der Temperatur des Kühlmittels während des Versuches

a) Die Temperatur der Umgebungsluft wird mit mehreren Thermometern gemessen, welche in halber Höhe der Ma-

schine in einem Abstand von 1...2 m von ihr angebracht werden. Sie dürfen weder Wärmestrahlungen noch Luftströmungen ausgesetzt sein.

b) Die Temperatur der Kühlluft, die aus einem Raum unterhalb des Maschinenbodens oder durch besondere Leitungen der Maschine zuströmt, wird durch mehrere Thermometer gemessen, die gleichmässig über den Eintritts-Querschnitt verteilt sind. Die Luftgeschwindigkeit soll über dem Eintritts-Querschnitt möglichst gleich sein.

c) Die Temperatur des Kühlwassers wird durch 2 mit ihren Messkolben in das Kühlwasser eintauchende Thermometer bestimmt.

Als Temperatur des Kühlmittels gilt der Mittelwert der in gleichen Zeitintervallen während des letzten Viertels der Versuchsdauer erfolgten Thermometerablesungen.

Zur Vermeidung der Fehler, welche dadurch entstehen können, dass die Temperatur der Maschine den Temperaturänderungen des Kühlmittels mit einer Verzögerung entsprechend der Zeitkonstanten der Maschine folgt, sind alle zweckmässigen Vorkehren zu treffen, um diese Temperaturänderungen und die dadurch verursachten Fehler zu vermindern.

7.7 Korrektur für Messungen, die erst nach Stillsetzung der Maschine gemacht werden

Wird die Temperatur nicht während des Laufes gemessen, so hat die Messung möglichst rasch nach dem Stillsetzen zu erfolgen. Ist vom Augenblick des Ausschaltens bis zu den Messungen soviel Zeit verstrichen, dass eine merkliche Abkühlung anzunehmen ist, so ist eine Abkühlungskurve aufzunehmen und auf den Augenblick des Ausschaltens zu extrapolieren.

7.8 Anfangswiderstand

Es ist darauf zu achten, dass bei der Messung des Anfangswiderstandes alle Teile der Wicklung die gleiche Temperatur haben. Um das zu erreichen, soll die Wicklungstemperatur möglichst gleich der Umgebungstemperatur sein. Die Anfangstemperatur ϑ_1 der Wicklung ist mit Thermometer direkt an der Wicklung zu messen.

7.9 Tabelle der Grenzerwärmungen

Tabelle III gibt die zulässigen Grenzerwärmungen bei Dauernennbetrieb (nach Ziff. **4.2**) für Maschinen, die mit Isolierstoffen Klasse A, E, B, F oder H nach Ziff. **7.12.2.1**... **7.12.2.6** isoliert sind (mit Ausnahme wasserstoffgekühlter Turbogeneratoren), bezogen auf eine Kühlluft- oder Kühlgastemperatur von höchstens 40 °C.

Bei Verwendung von Isolierstoffen der Klasse Y gelten Grenzerwärmungen, die um 15 °C niedriger sind als jene für Isolierstoffe der Klasse A.

Wird die Kühlwassertemperatur als Bezugstemperatur angenommen [siehe Ziff. **7.5**, Alinea c) und d)], so gelten bei einer Kühlwassertemperatur von höchstens 25 °C gegenüber Tabelle III um 15 °C erhöhte Grenzerwärmungen.

Bemerkung:

Die zulässigen Abweichungen bei anderen Betriebsarten sind in den Ziff. **4.3**...**4.5** angegeben.

Es ist nicht vorgesehen, die Thermometermethode gleichzeitig mit der Widerstandsmethode anzuwenden, und die Werte der Erwärmungen nach Tabelle III für die Thermometermethode und die Widerstandsmethode dürfen nicht zur gegenseitigen Kontrolle verwendet werden. Wenn jedoch der Käufer wünscht, dass ausser den Messungen nach der Widerstandsmethode eine Thermometermessung gemacht werde, so soll die am wärmsten zugänglichen Ort auftretende, mit einem Thermometer zu messende Erwärmung vorher vereinbart werden, darf aber in keinem Fall folgende Temperaturen übersteigen:

65 °C	bei Isolation der Wicklung mit Materialien der Klasse A
80 °C	bei Isolation der Wicklung mit Materialien der Klasse E
90 °C	bei Isolation der Wicklung mit Materialien der Klasse B
110 °C	bei Isolation der Wicklung mit Materialien der Klasse F
135 °C	bei Isolation der Wicklung mit Materialien der Klasse H

7.10 Wicklungen für mehr als 11 000 V

Bei Wechselstromwicklungen, die ganz für eine Nennspannung zwischen 11 000 V und 16 500 V isoliert sind, gelten bei Messung mit Thermometer reduzierte Werte für die Grenzerwärmungen. Die Reduktion beträgt 1,5 °C pro 1000 V oder Bruchteil von 1000 V über 11 000 V.

Die Grenzerwärmungen von Wicklungen für mehr als 16 500 V Nennspannung sind besonders zu vereinbaren.

7.11 Maschinen, deren Kühlmitteltemperaturen von den normalen Bezugstemperaturen der Ziff. 1.2, Alinea b) abweichen.

7.11.1 *Kühlmitteltemperaturen höher als in Ziff.* 1.2, *Alinea b)*

Überschreitet die Kühlmitteltemperatur die in Ziff. **1.2**, Alinea b) angegebenen normalen Bezugstemperaturen, so sind die in Tabelle III angegebenen Grenzerwärmungen um folgende Beträge zu reduzieren:

um 5 °C, wenn die Kühlmitteltemperatur um bis und mit 5 °C höher ist als die normale,

um 10 °C, wenn die Kühlmitteltemperatur um mehr als 5 °C bis und mit 10 °C höher ist als die normale,

nach Vereinbarung, wenn die Kühlmitteltemperatur mehr als 10 °C über der normalen Bezugstemperatur liegt.

Diese Reduktionen beziehen sich auf Isolierstoffe der Klassen A, E, B, F und H, wenn die Versuche beim Hersteller durchgeführt werden.

Auf dem Leistungsschild muss in allen diesen Fällen die vereinbarte Kühlmitteltemperatur angegeben werden.

7.11.2 *Kühlmitteltemperaturen dauernd niedriger als in Ziff.* 1.2, *Alinea b)*

Liegen die Kühlmitteltemperaturen dauernd unter den normalen Bezugstemperaturen der Ziff. **1.2**, Alinea b), und wurde darüber eine besondere Vereinbarung getroffen, so können die Grenzerwärmungen der Tab. III um soviel Grad erhöht werden, als die höchste im Betrieb vorkommende Kühlmitteltemperatur die normalen Werte unterschreitet. Auf dem Schilde muss in diesem Falle die vereinbarte Kühlmitteltemperatur angegeben werden.

Bemerkung:

Es wird ausdrücklich auf die Möglichkeit einer mechanischen Schädigung der Spulen infolge erhöhter Wärmedehnung, besonders bei grosser Eisenlänge, aufmerksam gemacht.

7.12 Wärmebeständigkeitsklassen der Isolierstoffe

7.12.1 *Grundsätzliches*

Die in den Ziff. **7.12.2.1**...**7.12.2.6** angeführten Materialien — oder die Kombination klassengleicher Materialien — sind als Beispiele zu verstehen. Es können auch andere Materialien in einer bestimmten Klasse mitverwendet werden, sofern Erfahrung oder anerkannte Versuche ihre Betriebstüchtigkeit für diese Klasse erwiesen haben.

Ausführlichere Listen der in Frage kommenden Isolierstoffe sind zur ersten Orientierung in der Publikation 85 der CEI, Recommandations relatives à la classification des matières destinées à l'isolement des machines et appareils électriques en fonction de leur stabilité thermique en service, zusammengestellt. Da aber, gerade bei den Kunststoffen, bestimmte Bezeichnungen den Sammelbegriff für eine Vielzahl von Materialien mit z. T. stark abweichenden Eigenschaften bilden, ist die genaue Kenntnis der spezifischen Eigenschaften eines bestimmten Isolierstoffes von grösster Wichtigkeit.

7.12.2 *Einteilung der Isolationen*

Die Isolationen können folgendermassen klassiert werden [die jeweils hinter der Klasse angegebene Temperatur ist die höchstzulässige (hottest spot) Temperatur].

7.12.2.1 Klasse Y (90 °C)

Baumwolle, Seide, Papier und ähnliche organische Stoffe, weder imprägniert noch unter Öl gelten als Isolation Klasse Y, sofern die Bedingung gemäss Ziff. **7.12.1** eingehalten wird.

7.12.2.2 Klasse A (105 °C)

Baumwolle, Seide, Papier und ähnliche organische Stoffe, imprägniert (getränkt) oder unter Öl gelten als Isolation

Klasse A, sofern die Bedingung gemäss Ziff. 7.12.1 eingehalten ist.

Bemerkung:

Ein Isolierstoff gilt als «imprägniert», wenn die Luft zwischen den Fasern durch einen geeigneten Stoff ersetzt ist, auch dann, wenn dieser Stoff nicht alle Räume zwischen den einzelnen isolierten Leitern vollständig ausfüllt. Von einem brauchbaren Imprägnierstoff wird verlangt, dass er gute Isoliereigenschaften besitzt, die Fasern umhüllt und sie aneinander und am Leiter haften lässt; er darf infolge Verdunstung des Lösungsmittels oder infolge anderer Ursachen keine Hohlräume bilden; er darf bei Vollast unterhalb der zulässigen Grenztemperatur nicht flüssig werden; er darf sich bei dauernder Wärmeeinwirkung nicht ändern. Als Imprägnierung gilt hier auch Füllmasse (z. B. Kompound).

7.12.2.3 Klasse E (120 °C)

Lack für Drahtisolation; Kombinationen von Lack für Drahtisolation mit Isolierstoff der Klasse A (Baumwolle,

Grenzerwärmungen in °C [1])

Tabelle III

Art.	Maschinenteil	Isolation Klasse A			Isolation Klasse E			Isolation Klasse B			Isolation Klasse F [2])			Isolation Klasse H [2])		
		Thermometer-Methode °C	Widerstands-Methode °C	Messung mit eingebettetem elektrischem Thermometer (siehe Ziffer 7.3.3) °C	Thermometer-Methode °C	Widerstands-Methode °C	Messung mit eingebettetem elektrischem Thermometer (siehe Ziffer 7.3.3) °C	Thermometer-Methode °C	Widerstands-Methode °C	Messung mit eingebettetem elektrischem Thermometer (siehe Ziffer 7.3.3) °C	Thermometer-Methode °C	Widerstands-Methode °C	Messung mit eingebettetem elektrischem Thermometer (siehe Ziffer 7.3.3) °C	Thermometer-Methode °C	Widerstands-Methode °C	Messung mit eingebettetem elektrischem Thermometer (siehe Ziffer 7.3.3) °C
1	a) Wechselstromwicklungen von Turbogeneratoren mit einer Leistung von 5000 kVA und mehr b) Wechselstromwicklungen von Maschinen mit ausgeprägten Polen und von Induktionsmaschinen mit einer Leistung von 5000 kVA und mehr, oder mit einer axialen Eisenlänge von 1 m und mehr **Bemerkung:** Auch bei Maschinen kleinerer Leistung darf die Methode eingebetteter Temperaturanzeiger verwendet werden. Es gelten unverändert die Grenzerwärmungen nach Art. 1.	—	60	60	—	70	70	—	80	80	—	100	100	—	125	125
2	a) Wechselstrom-Wicklungen von Maschinen kleiner als diejenigen unter Art. 1	50 [3])	60	—	65 [3])	75	—	70 [3])	80	—	85 [3])	100	—	105 [3])	125	—
2	b) Erregerwicklungen von Wechselstrom- und Gleichstrommaschinen mit Gleichstromerregung, mit Ausnahme derjenigen unter Art. 3 und 4 c) Ankerwicklungen, welche mit Kommutatoren verbunden sind	50 [3])	60	—	65 [3])	75	—	70 [3])	80	—	85 [3])	100	—	105 [3])	125	—
3	Erregerwicklungen von Turbomaschinen mit Gleichstromerregung	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	110	—	—	—	—
4	a) Erregerwicklungen, mehrlagig, mit kleinem Widerstand und Kompensationswicklungen	60	60	—	75	75	—	80	80	—	100	100	—	125	125	—
	b) Erregerwicklungen, einlagig mit blanker Oberfläche	65	65	—	80	80	—	90	90	—	110	110	—	135	135	—
5	Dauernd kurzgeschlossene, isolierte Wicklungen	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
6	Dauernd kurzgeschlossene, nicht isolierte Wicklungen	Die Erwärmung dieser Teile darf keinesfalls benachbarte Wicklungs- und andere Teile gefährden.														
7	Eisenkerne und andere Teile, nicht in Berührung mit Wicklungen															
8	Eisenkerne und andere Teile, in Berührung mit Wicklungen	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
9	Kommutatoren und Schleifringe, offen oder gekapselt	60	—	—	70	—	—	80	—	—	90	—	—	100	—	—

[1]) Diese Grenzerwärmungen gelten nicht für wasserstoffgekühlte Turbogeneratoren.
[2]) Ohne Abmachung zwischen Käufer und Hersteller soll die Erwärmung von Maschinen mit einer Leistung von 5000 kVA und mehr oder mit einer axialen Eisenlänge von 1 m und mehr bei Verwendung von Isolationsmaterial der Klassen F und H die für Klasse B zugelassenen Werte nicht überschreiten.
[3]) Für Hochspannungswicklungen über 11 000 V ist nach Ziff. 7.10 zu korrigieren.

Seide, Papier, und ähnliche organische Stoffe, imprägniert) gelten als Isolation Klasse E, sofern die Bedingung gemäss Ziff. 7.12.1 eingehalten ist.

7.12.2.4 Klasse B (130 °C)

Geeignete Bindemittel enthaltende Produkte aus Glimmer, Glasfasern, Asbest oder ähnlichen anorganischen Stoffen und deren Kombination mit anderen nicht notwendigerweise anorganischen Stoffen, sowie auch spezielle Lackdrähte gelten als Isolation Klasse B, sofern die Bedingung gemäss Ziff. 7.12.1 für die Temperatur der Klasse B erfüllt ist.

7.12.2.5 Klasse F (155 °C)

Materialien wie in Ziff. 7.12.2.4 gelten als Isolation Klasse F, sofern die Bedingung gemäss Ziff. 7.12.1 für eine gegenüber Klasse B um 25 °C höhere Temperatur erfüllt ist.

7.12.2.6 Klasse H (180 °C)

Materialien wie Silicon-Elastomere und Kombinationen von Materialien wie Glimmer, Glasfasern, Asbest usw. mit einem geeigneten Bindemittel, z. B. einem zweckentsprechen-

Prüfspannungen Tabelle IV

Nr.	Gegenstand	Prüfspannung (Effektivwerte)
1	Rotierende Maschinen unter 1 kW oder 1 kVA	500 V + 2mal Nennspannung
2	Rotierende Maschinen von 1 kW oder 1 kVA bis weniger als 10 000 kW oder kVA (siehe Bemerkung 1)	1000 V + 2mal Nennspannung Minimum 1500 V
3	Rotierende Maschinen von 10 000 kW oder kVA und mehr Nennspannung:	
	bis 2000 V	1000 V + 2mal Nennspannung
	über 2000 V...6000 V	2,5mal Nennspannung
	über 6000 V	3000 V + 2mal Nennspannung
4	Erregerwicklungen fremderregter Gleichstrommaschinen	1000 V + 2mal höchste Nennerregerspannung Minimum 1500 V
5	Erregerwicklungen für Synchrongeneratoren	10mal Nennerregerspannung Minimum 1500 V Maximum 3500 V
6	Erregerwicklungen von Synchronmotoren, synchronen Blindleistungsmaschinen und Einankerumformern	
	a) Bei asynchronem Anlauf mit kurzgeschlossener oder über die Erregerstromquelle geschlossener Erregerwicklung, bei Anlauf mit Anwurfsmotor und bei Anlauf von Einankerumformern von der Gleichstromseite her	1000 V + 2mal höchste Nennerregerspannung Minimum 1500 V
	b) Bei asynchronem Anlauf mit aufgeteilter oder unaufgeteilter, offener oder über einen Widerstand geschlossener Erregerwicklung	1000 V + 2mal der höchste Effektivwert der Spannung, die unter den vorgeschriebenen Anlaufbedingungen zwischen Anfang und Ende der unaufgeteilten oder der einzelnen Abschnitte der aufgeteilten Erregerwicklung auftreten kann Minimum 1500 V Maximum 8000 V (siehe Bemerkung 2)
7	Nicht ständig kurzgeschlossene Sekundärwicklungen (im allgem. Rotorwicklungen) von Induktions- oder Synchroninduktionsmotoren	
	a) bei Motoren mit im Lauf nicht umkehrbarem Drehfeld	1000 V + 2mal die zwischen den Schleifringen oder den Sekundärklemmen im Stillstand auftretende Spannung, wenn an die Primärklemmen Nennspannung gelegt wird.
	b) bei Motoren mit im Lauf umkehrbarem Drehfeld	1000 V + 4mal die unter Nr. 7a definierte Stillstandsspannung
8	Erregermaschinen	Wie die Wicklungen, an denen sie angeschlossen sind
	Ausnahme 1 — Erregermaschinen von Synchronmotoren (einschliesslich Synchroninduktionsmotoren), wenn sie während des Anlaufs geerdet oder von der Erregerwicklung abgetrennt sind.	1000 V + 2mal Nennspannung der Erregermaschine Minimum 1500 V
	Ausnahme 2 — Fremderregte Erregerwicklungen von Erregermaschinen	1000 V + 2mal höchste Nennerregerspannung Minimum 1500 V
9	Gruppe von Maschinen und Apparaten	Wenn eine Gruppe von miteinander verbundenen neuen Apparaten, von denen jeder seine Spannungsprüfung bestanden hat, einer Spannungsprüfung unterzogen werden soll, so darf die Prüfspannung 85 % der niedrigsten der Prüfspannungen der einzelnen Apparate der Gruppe nicht übersteigen

Bemerkung 1: Die Prüfspannung mit abgestufter Isolation ist besonders zu vereinbaren.

Bemerkung 2: Die zwischen der ganzen Erregerwicklung oder an deren Abschnitten bei den vorgeschriebenen Anlaufbedingungen auftretende Spannung kann bei reduzierter Spannung gemessen und dann im Verhältnis der Anlaufspannung zur Meßspannung umgerechnet werden.

den Silikonharz gelten als Isolation Klasse H, sofern die Bedingung gemäss Ziff. **7.12.1** eingehalten ist.

7.13 Isolationen aus Isolierstoffen verschiedener Klassen

Wenn die Isolation aus Isolierstoffen verschiedener Klassen besteht, so darf die Temperatur keines Isolierstoffes die für ihn vorgesehene Grenztemperatur übersteigen.

Beispiele:

a) Wenn die verschiedenen Isolierstoffe in verschiedenen Teilen derselben Wicklung verwendet werden (z. B. in der Nute und in den Stirnteilen), so gilt als Grenztemperatur für jeden dieser Teile die für den betreffenden Isolierstoff vorgeschriebene.

b) Wenn die Isolation irgendeines Teiles der Maschine aus Isolierstoffen verschiedener Klassen geschichtet ist (z. B. aus Isolierstoffen der Klassen A und B), so sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Wenn es möglich ist, die individuell erreichte Temperatur jeder einzelnen Schicht zu messen, so gilt für jede Schicht die Grenztemperatur des betreffenden Isolierstoffes.
2. Wenn die Messung der Temperatur jeder einzelnen Schicht nicht möglich ist, so gilt für den betrachteten Wicklungsteil die Grenztemperatur des Isolierstoffes mit der niedrigsten Grenze.

8 Isolierfestigkeit

8.1 Spannungsprüfungen

Die Spannungsprüfungen werden, wenn nichts anderes vereinbart ist, in den Werkstätten des Herstellers ausgeführt, unmittelbar nach dem Erwärmungsversuch bei einer der Normalbetriebstemperatur nahen Maschinentemperatur. Die Prüfungen dürfen auch an der kalten Maschine vorgenommen werden, falls die Maschine im warmen Zustand nicht zur Verfügung steht. Die Maschine muss vollständig ausgerüstet sein und alles Zubehör muss unter Bedingungen, die den normalen Betriebsbedingungen entsprechen, an seinem Platze sein. Die vorgeschriebene Prüfspannung darf nur bei neuen Maschinen angelegt werden. Sie wird einerseits an die zu prüfende Wicklung, anderseits an die Gesamtheit der untereinander und mit Masse verbundenen übrigen Wicklungen gelegt. Dabei ist als «zu prüfende Wicklung» grundsätzlich die *Gesamtheit* der betriebsmässig verbundenen Wicklungen aufzufassen (bei Mehrphasenmaschinen die Gesamtheit der Phasenwicklungen), bei Maschinen über 1000 V Nennspannung jedoch die *einzelne* Wicklung (beziehungsweise Phasenwicklung), sofern sie von den übrigen Wicklungen an den Klemmen getrennt werden kann.

Die Spannungsprüfungen sind nach der SEV-Publikation Nr. 0173, Regeln für Spannungsprüfungen, durchzuführen. Die volle Prüfspannung wird während 1 Minute aufrechterhalten. Die Höhe der Prüfspannung ist durch Tabelle IV bestimmt.

Bemerkung:

Ist ein Spannungsbereich vorgeschrieben, der über den in Ziff. **13.1** stipulierten Normalwert von $\pm 5\,\%$ hinausgeht, so ist die Prüfspannung nicht auf die Nennspannung, sondern auf die höchste Spannung zu beziehen (z. B. bei einem Spannungsbereich von $\pm 10\,\%$ auf $U_n \times 1{,}1$).

8.2 Wiederholung der Spannungsprüfung

Eine Wiederholung der Spannungsprüfung nach Ziff. **8.1** soll vermieden werden. Wird sie verlangt, so ist sie mit 80 % der Prüfspannung nach Tabelle IV auszuführen.

Gebrauchte und teilweise neu gewickelte Maschinen sind nach sorgfältiger Reinigung und Trocknung mit 75 % der Prüfspannung nach Tabelle IV zu prüfen.

Vollständig neu gewickelte Maschinen sind mit der vollen Prüfspannung nach Tabelle IV, d. h. wie neue Maschinen zu prüfen.

9 Wirkungsgradbestimmung

9.1 Allgemeines

Der Wirkungsgrad kann nach einer der folgenden Methoden ermittelt werden:

1. Messung der aufgenommenen und abgegebenen Leistung
2. Kalorimetrische Methode
3. Rückarbeitsmethode
4. Einzelverlustmethode

Bei Garantien für den Wirkungsgrad ist die Messmethode anzugeben. Wenn nichts anderes vereinbart ist, versteht man unter dem Wirkungsgrad den nach der Einzelverlustmethode gemessenen.

Wirkungsgradangaben beziehen sich auf den Nennbetrieb, sofern nichts anderes angegeben ist.

Voraussetzung für die Prüfungen ist, dass die Maschinen gut eingelaufen sind.

Die Wirkungsgradmessung nach den drei ersten der angegebenen Methoden wird durchgeführt, nachdem die Enderwärmung bei Nennbetrieb erreicht wurde. Eine Umrechnung der Verluste auf eine Bezugstemperatur wird nicht vorgenommen. Bei der Einzelverlustmethode (siehe Ziff. **9.5**) sind hingegen die Stromwärmeverluste auf die im folgenden festgelegten Bezugstemperaturen umzurechnen.

Erläuterung: Unter «Stromwärmeverlusten» werden hier und im folgenden die einfachen Stromwärmeverluste, berechnet aus dem Gleichstromwiderstand, verstanden. Die zusätzlichen Stromwärmeverluste, verursacht durch Stromverdrängung, sind also nicht inbegriffen.

Als Bezugstemperatur gilt für Maschinenteile mit Isolierstoffen

der Klasse A, E, B	75 °C
der Klasse F, H	115 °C

Bemerkung:

Wird bei Verwendung von Materialien der Klassen F oder H nur die Erwärmung von Klasse-B-Materialien zugelassen, so darf als Bezugstemperatur 75 °C verwendet werden.

Die Umrechnung des mit Gleichstrom bei der Wicklungstemperatur ϑ (in °C) ermittelten Widerstandes R einer Wicklung aus Kupfer oder Aluminium auf die Bezugstemperatur (Widerstand R') erfolgt nach folgenden Formeln:

Für die Klassen A, E und B:

$$R' = \frac{310}{235 + \vartheta} \cdot R$$

Für die Klassen F und H:

$$R' = \frac{350}{235 + \vartheta} \cdot R$$

Alle Verluste in den zur Maschine allein gehörenden Hilfsgeräten — jedoch nur diese — sind bei der Ermittlung des Maschinenwirkungsgrades einzubeziehen, insbesondere:

a) Die Verluste in Stell-, Vorschalt- und anderen ähnlichen Widerständen, Drosselspulen, Kondensatoren, Hilfstransformatoren und Gleichrichtern, die zum ordnungsgemässen Betrieb nötig sind.

b) Bei Eigenerregung die Verluste in der Erregermaschine einschliesslich der Verluste in deren Energie-Übertragung (Getriebe, elektrische Welle, Gleichrichter usw.).

c) Die Verluste in den zur Maschine allein gehörenden Lagern, aber nicht in Lagern fremder Lieferung.

Für Lager, die durch den elektrischen Generator bzw. Motor und die antreibende bzw. angetriebene Maschine gemeinsam belastet werden, gibt der Lieferant des Lagers dessen totale Verluste an, und zwar mindestens für die beiden Grenzfälle der vollen Belastung des Lagers und der Belastung durch den Rotor der elektrischen Maschine allein. Die garantierten und gegebenenfalls gemessenen Verluste in solchen gemeinsamen Lagern werden als gesonderter Verlustposten behandelt, der normalerweise nicht auf die beteiligten Maschinen aufgeteilt, sondern der gesamten Maschinengruppe belastet wird. Eine nachträgliche Verteilung der Verluste auf die beteiligten Maschinen im Verhältnis ihres Anteils an der totalen Lagerbelastung erfolgt nur dann, wenn bei der Ermittlung des gemessenen Turbinen- oder Pumpenwirkungsgrades die Bestimmung der Ziff. 160, Alinea 2, der Publ. 0178 des SEV, Regeln für Wasserturbinen, zur Anwendung gelangt. Die Garantien für die elektrische Maschine allein werden dadurch nicht berührt. Das gleiche gilt bei Aggregaten mit vertikaler Welle für die Verluste eines mit dem Spurlager kombinierten Führungslagers.

d) Die durch Eigen- oder Fremdventilation aufgenommene Leistung, sofern sie ausschliesslich für die in Frage

stehende Maschine bestimmt ist. Wenn die Maschine durch eine gemeinsame, unabhängige Luftversorgung belüftet wird, sind die Verluste infolge Luftreibung in den äusseren Kühlluftkanälen und in den unabhängigen Ventilatoren nicht in die Ventilationsverluste einzuschliessen.

e) Der Verbrauch der direkt mechanisch angetriebenen Wasser- und Ölpumpen.

9.2 Wirkungsgradbestimmung durch Messung der aufgenommenen und abgegebenen Leistung

9.2.1 *Allgemeines*

Der Wirkungsgrad wird bestimmt durch gleichzeitige Messung der aufgenommenen und der abgegebenen Leistung an der belasteten Maschine. Die elektrische Leistung wird dabei mit elektrischen Präzisionsmessgeräten, die mechanische Leistung mit einer Bremse, einer elektrodynamischen Drehmomentwaage (auch Leistungswaage genannt), einem Torsiometer oder mit einer geeichten Hilfsmaschine gemessen.

Die Messung soll durchgeführt werden, nachdem die Enderwärmung bei Nennbetrieb so genau als möglich erreicht ist.

Bemerkung:

Die Wirkungsgradbestimmung aus aufgenommener und abgegebener Leistung vermeidet alle methodischen Fehler, muss jedoch sehr genau durchgeführt werden, besonders bei Maschinen mit hohem Wirkungsgrad. Die Anwendbarkeit der Methode ist auch durch die Einrichtungen des Prüfraumes begrenzt.

9.2.2 *Ausführungsregeln*

a) Bei dieser Methode ist es wichtig, dass sowohl die zu prüfende Maschine, als auch die elektrodynamische Drehmomentwaage oder die geeichte Hilfsmaschine aus ruhigen Stromquellen, d. h. aus Stromquellen von konstanter Spannung und Frequenz gespeist werden.

b) Die *elektrische Leistung* soll mit Messgeräten mindestens der Klasse 0,2 gemessen werden.

c) Zur mechanischen Belastung oder zum mechanischen Antrieb eignet sich am besten eine elektrodynamische Drehmomentwaage.

Um das *Drehmoment* genau messen zu können, ist auf folgendes zu achten:

Der Hebelarm und die Gewichte oder die Federwaage müssen geeicht sein.

Die Ansprechunempfindlichkeit der elektrodynamischen Drehmomentwaage soll nicht grösser als 3 ‰ des Nenndrehmomentes der geprüften Maschine sein. Der Stator der elektrodynamischen Drehmomentwaage soll daher Schneiden oder Kugellager kleinster Reibung haben und die Stromzuführungen sollen mit sehr flexibeln Kabeln ausgeführt werden.

Die durch die Ventilation der elektrodynamischen Drehmomentwaage bedingte Korrektur kann ein für alle Mal folgendermassen bestimmt werden: Die elektrodynamische Drehmomentwaage wird als leerlaufender Motor vom Netz angetrieben. Das Gleichgewicht des Hebelarmes wird durch Auflegen von Gewicht auf der einen oder anderen Seite oder mit der Federwaage hergestellt. So wird zu jeder Drehzahl und für beide Drehrichtungen das Drehmoment K bestimmt, welches zur Korrektur der Ventilationsverluste der elektrodynamischen Drehmomentwaage nötig ist. Es ist als positiv zu bezeichnen, wenn unter seiner alleinigen Wirkung sich der Stator im Sinne der Läuferdrehrichtung verstellen würde. Das wahre an der Kupplung der elektrodynamischen Drehmomentwaage abgegebene Drehmoment M ist dann:

$M = M' + K$ wenn die geprüfte Maschine als Motor läuft,
$M = M' - K$ wenn die geprüfte Maschine als Generator läuft.
M' ist das aus Hebelarm und Gewicht berechnete Drehmoment,
K ist die Korrektur für die Ventilationsverluste.

d) Die *Drehzahl* muss sehr genau ermittelt werden, z. B. durch einen Drehzahlzähler mit eingebauter Stoppuhr oder durch stroboskopische Messung des Schlupfes und gleichzeitige Messung der Netzfrequenz mit einem genauen Frequenzmesser.

e) Für die *mechanische Leistung* an der Welle gilt die Gleichung:

$$P = \omega M \text{ [1]}$$

oder, auf die bei der Messung verwendeten Einheiten umgerechnet:

[1]) Grössengleichung, in die man Giorgi-Masszahlen ohne Umrechnung einsetzen kann.

$$P = 1{,}027\ M \frac{n}{1000} \text{ [2]}$$

P ist die mechanische Leistung in kW
M ist das korrigierte Hebeldrehmoment in kg*m
n ist die gemessene Drehzahl in U./min

9.3 Wirkungsgradbestimmung nach der kalorimetrischen Methode

9.3.1 *Allgemeines*

Die Maschine läuft im Betriebszustand, für den der Wirkungsgrad bestimmt werden soll. Die Gesamtverluste werden dadurch ermittelt, dass man die durch das Kühlmittel weggeführte Wärmeleistung misst und die kalorimetrisch nicht erfassten Verluste addiert. Die kalorimetrische Messung kann auf folgende zwei Arten geschehen:

a) Man misst die Menge dividiert durch die Zeit, ferner die Erwärmung des Kühlmittels und berechnet daraus die weggeführte Verlustleistung.

b) Man vergleicht die Erwärmung des Kühlmittels in der belasteten Maschine mit der Erwärmung des Kühlmittels durch eine zugeführte, elektrisch messbare Verlustleistung bei unveränderter Kühlmittelströmung *(vergleichende kalorimetrische Methode)*.

Bemerkung:

Die kalorimetrische Methode gestattet eine direkte Bestimmung des Wirkungsgrades, auch wenn dieser sehr hoch ist, sowie der Einzelverluste. Sie erfordert einen gewissen messtechnischen Aufwand, um eine genügende Messgenauigkeit zu ergeben, ist jedoch in manchen Fällen die einzige überhaupt anwendbare Methode.

Bei der Verwendung von Luft als Kühlmittel müssen besondere Luftkanäle erstellt werden, dagegen ist bei Wasserkühlung die Methode verhältnismässig einfach anzuwenden.

Bei jedem einzelnen Messpunkt muss der Beharrungszustand abgewartet werden.

Bei der Bestimmung der totalen Verluste sind zu den kalorimetrisch gemessenen, folgende Verluste zu addieren, sofern sie nicht schon erfasst sind:

a) Verluste in Erregern und in zugehörigen Stellwiderständen bei Eigenerregung.
b) Verluste an Schleifringen.
c) Verluste in Lagern und Dichtungsringen.
d) Verluste durch Strahlung und Konvektion.

Die kalorimetrische Methode wird nur dann durchgeführt, wenn sie in der Bestellung ausdrücklich verlangt wird.

Bei Kreislaufkühlung wird in der Regel die durch das flüssige Kühlmittel abgeführte Wärme gemessen.

9.3.2 *Ausführungsregeln*

9.3.2.1 Luft als Kühlmittel

Zur Bestimmung der *Kühlluftmenge* und der *Kühllufterwärmung* wird der Eintritts- und Austrittskanal zweckmässigerweise z. B. durch Drähte oder Fäden in eine genügende Zahl z gleicher Teilquerschnitte unterteilt, wobei z zweckmässigerweise nach folgender Formel bestimmt wird:

$$z \approx (50...100) \sqrt{\Sigma A}$$

ΣA ist der Gesamtquerschnitt des Luftkanals in m². Weichen weder die Geschwindigkeit, noch die Kühllufterwärmung in irgend einem der Teilquerschnitte mehr als 10 % vom Mittelwert der Teilquerschnitte ab, so wird für jeden Messwert getrennt der arithmetische Mittelwert berechnet. Sind die Abweichungen der Messwerte vom Mittelwert grösser, so muss für jeden Teilquerschnitt beim Lufteintritt und -austritt die in der strömenden Luft mitgeführte Leistung sinngemäss nach den folgenden Formeln berechnet werden, wobei man den Energieinhalt über einem willkürlichen Bezugsniveau (z. B. Umgebungstemperatur und Strömungsgeschwindigkeit Null) in Rechnung setzt. Diese Leistungen werden sowohl über die Eintritts-, als auch über die Austritts-Teilquerschnitte summiert und die beiden Werte voneinander subtrahiert, um die totale vom Luftstrom mitgeführte Leistung zu ermitteln.

Im Interesse einer genauen Messung ist wenn irgend möglich durch geeignete Luftführung für eine weitgehend homogene Luftströmung zu sorgen.

[2]) Hier und in analogen Fällen werden Masszahlengleichungen in den bei der Messung verwendeten Einheiten angeschrieben. Die Krafteinheit (1 kg* = 9,81 kgm/s² = 9,81 Newton) wird hier durch ein Sternchen von der Masseneinheit (kg) unterschieden.

Die *Luftgeschwindigkeit* in jedem Teilquerschnitt wird gemessen:

mit einem *Anemometer* (Flügelrad; wenn möglich vor und nach der Messung eichen) und einer Stoppuhr,

oder mit einem *Staugerät nach Prandtl.* Aus der Differenz der Drücke p_d in den beiden Rohren ergibt sich die Strömungsgeschwindigkeit:

$$v = \sqrt{\frac{2\,p_d}{\varrho}} \quad ^{1)}$$

oder, auf die bei der Messung verwendeten Einheiten umgerechnet:

$$v = \sqrt{\frac{19{,}62\,p_d}{\varrho}} \quad ^{2)}$$

v ist die Strömungsgeschwindigkeit in m/s

p_d ist der dynamische Druck oder Staudruck in mm Wassersäule (kg*/m²)

$\varrho = 0{,}464\,\frac{p}{T}$ ist die Luftdichte in kg/m³

$T = 273\,°C + \vartheta$ ist die absolute Temperatur der Luft in °K

p ist der statische Luftdruck in mm Hg (Torr)

Der Mittelwert des dynamischen Druckes aus den Messwerten $p_{d1}, p_{d2} \ldots p_{dn}$ wird bestimmt nach der Formel:

$$p_{d\,med} = \left(\frac{\sqrt{p_{d1}} + \sqrt{p_{d2}} + \ldots \sqrt{p_{dn}}}{n}\right)^2$$

Der *Kühlluftstrom* (in m³/s) ist dann:

$$Q = v_{med}\,\Sigma A$$

ΣA ist die Summe aller Teilquerschnitte (gleich totaler Querschnitt des Luftkanals) in m²

v_{med} ist der arithmetische Mittelwert der in den einzelnen Teilquerschnitten gemessenen Luftgeschwindigkeiten

Bemerkung:

Soll bei Kreislaufkühlung die aus den Kühlern in den Ringkanal austretende Luftmenge nahe bei den Kühlern gemessen werden, so ist darauf zu achten, dass die Messung durch lokale Kontraktionen zwischen Kühlern und Mess-Stelle oder durch Stauungen zwischen Ende Messkanal und Wand des Ringkanals nicht gefälscht wird.

Sind die erwähnten Bedingungen über die Homogenität der Strömung erfüllt, so misst man die *mittlere Kühlluftterwärmung* $\Delta\vartheta$ am besten durch Thermoelemente, welche auf die Teilquerschnitte des Eintritts- und Austrittskanals verteilt und in Reihe geschaltet sind.

Sind gleichviel Thermoelemente im Eintritts- und Austrittskanal angeordnet, und ist die Strömung homogen, so kann durch Gegenschalten der beiden Thermoelement-Gruppen die Messgenauigkeit erhöht werden.

Die durch die Luft *abgeführte Verlustleistung* ist dann:

$$P_v = Q\,\varrho\,c_p\,\Delta\vartheta$$

wo man am besten die Giorgi-Masszahlen einsetzt:

P_v ist die Verlustleistung in kW

$c_p = 1{,}01$ ist die spez. Wärme bei konstantem Druck in kJ/kgGrad

$\varrho = 0{,}464\,\frac{p}{T}$ ist die Luftdichte in kg/m³

Ist die Geschwindigkeit beim Luftaustritt verschieden von der Geschwindigkeit beim Lufteintritt, so muss zu den aus Luftstrom und Erwärmung ermittelten Verlusten P_v noch die Leistung P_c addiert werden, die zur *Beschleunigung der Luft* von v_0 auf v verbraucht wird. Sie beträgt:

$$P_c = \frac{Q\,\varrho}{2000}\,(v^2 - v_0^2) \quad \text{in kW}$$

Bei der *vergleichenden kalorimetrischen Methode* baut man nach dem Austrittsquerschnitt der Maschine einen über den Kanalquerschnitt gleichmässig verteilten elektrischen Widerstand in den Luftkanal ein und misst die Temperaturdifferenz vor und nach diesem Widerstand. Beträgt diese Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta'$ bei einer Verlustleistung P_v' im Widerstand, so ist die durch die Kühlluft in der belasteten Maschine weggeführte Wärme:

$$P_v = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta'}\,P_v'$$

wo

$\Delta\vartheta$ die Erwärmung der Kühlluft durch die belastete Maschine bedeutet.

Eine *andere Art der vergleichenden kalorimetrischen Methode* besteht darin, dass bei zwei verschiedenen Betriebszuständen der Maschine, bei denen die Verluste mit elektrischen Messgeräten bestimmt werden können, die Differenz der Temperatur vor und nach der Maschine gemessen wird. Die Maschine wird z. B. als leerlaufender Motor betrieben und zwar vorteilhafterweise bei möglichst tiefer und möglichst hoher Spannung. Misst man im ersten Falle die aufgenommene Verlustleistung P_{v1} und die Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_1$, im zweiten Fall P_{v2} und $\Delta\vartheta_2$, so betragen die Gesamtverluste der belasteten Maschine bei einer gemessenen Kühlluftterwärmung $\Delta\vartheta$:

$$P_v = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta_2 - \Delta\vartheta_1}\,(P_{v2} - P_{v1})$$

Bei dieser zweiten Art der vergleichenden kalorimetrischen Methode muss die auf anderem Wege als durch die messbare Kühlluft weggeführte Wärme nicht berücksichtigt werden.

In den Fällen, in denen die auf anderem Wege als durch die Kühlluft weggeführte Wärme berücksichtigt werden soll, ermittelt man die durch *Strahlung* und *Konvektion* abgegebene Wärmeleistung, z. B. durch folgende Näherungsformel:

$$P_s = 10 \ldots 20\,\Delta\vartheta_s\,A_s \quad \text{in Watt, wo}$$

$\Delta\vartheta_s$ die Übertemperatur der strahlenden Fläche über die umgebende Lufttemperatur in °C,

A_s die strahlende Oberfläche der Maschine in m² bedeutet.

9.3.2.2 Flüssige Kühlmittel

Zur Messung der Flüssigkeitsmenge benützt man in die Leitung eingebaute Flüssigkeitszähler, Düsen oder Blenden, oder man wägt die in einer bestimmten Zeit durchgeflossene, in einem Gefäss gesammelte Kühlflüssigkeit.

Die *Temperaturen* der Kühlflüssigkeit müssen auf mindestens 0,1 °C genau gemessen werden, da der Unterschied zwischen Ein- und Austrittstemperatur gewöhnlich klein ist. Unter Umständen ist es im Interesse einer genaueren Messung nötig, durch Verminderung der durchfliessenden Kühlflüssigkeit deren Erwärmung auf etwa 10 °C zu vergrössern.

Die durch die Kühlflüssigkeit *weggeführte Verlustleistung* berechnet sich zu:

$$P_v = c\,\Delta\vartheta\,Q_m$$

wo man mit Vorteil die Giorgi-Masszahlen einsetzt:

P_v ist die Verlustleistung in kW

$c = 4{,}185$ ist die spez. Wärme des Wassers in kJ/kgGrad

$\Delta\vartheta$ ist die Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt

Q_m ist der Kühlwasserstrom in kg/s

9.4 Wirkungsgradbestimmung nach der Rückarbeitsmethode

Die Methode setzt voraus, dass zwei gleiche Maschinen zur Verfügung stehen. Diese werden mechanisch und elektrisch zusammengekuppelt. Die eine Maschine arbeitet als Generator und speist die andere Maschine; diese arbeitet als Motor und treibt die erste Maschine mechanisch an. Im stationären Lauf wird der Maschinengruppe gerade soviel Leistung zugeführt, wie die beiden Maschinen zusammen als Verluste aufweisen. Diese Leistung wird mit elektrischen Messgeräten gemessen und dient zur Berechnung des Wirkungsgrades.

Für Synchronmaschinen und Induktionsmaschinen ist die Rückarbeitsmethode umständlich und wird hier nicht näher erläutert. Hingegen kann für Gleichstrommaschinen die Rückarbeitsmethode verwendet werden. Diesbezügliche Ausführungsregeln sind in Ziff. **12.4** angegeben.

9.5 Wirkungsgradbestimmung nach der Einzelverlustmethode

Man unterscheidet folgende Einzelverluste:

---

[1]) Grössengleichung, in die man Giorgi-Masszahlen ohne Umrechnung einsetzen kann.

[2]) Hier und in analogen Fällen werden Masszahlengleichungen in den bei der Messung verwendeten Einheiten angeschrieben. Die Krafteinheit (1 kg* = 9,81 kgm/s² = 9,81 Newton) wird hier durch ein Sternchen von der Masseneinheit (kg) unterschieden.

9.5.1 *Leerverluste*

Die Leerverluste setzen sich zusammen aus:

a) den Verlusten im aktiven Eisen und anderen Metallteilen bei Leerlauf,

b) den mechanischen Verlusten durch Ventilation, Lager- und Bürstenreibung bei Leerlauf.

Die meistens vernachlässigbar kleinen Dielektrikumsverluste werden nicht gesondert behandelt. sondern als in den Eisenverlusten eingeschlossen betrachtet.

9.5.2 *Erregungsverluste*

Die Erregungsverluste setzen sich zusammen aus:

a) den Stromwärmeverlusten in der Erregerwicklung, für jede Last berechnet aus dem Gleichstromwiderstand der Wicklung bei der Bezugstemperatur, eingeschlossen die Verluste in den Stellwiderständen,

b) den Übergangsverlusten an den Schleifringen, die Erregerstrom führen, und

c) bei Eigenerregung den Verlusten in der Erregermaschine einschliesslich der Verluste in deren Energieübertragung (Getriebe, elektrische Welle, Gleichrichter usw.) und in den Stellwiderständen.

9.5.3 *Lastverluste*

Die Lastverluste setzen sich zusammen aus:

a) den Stromwärmeverlusten in den vom Ankerstrom durchflossenen Wicklungen, für jede Last berechnet aus den Gleichstromwiderständen der Wicklungen bei Bezugstemperatur,

b) den Übergangsverlusten an Schleifringen und Kommutatoren, die Laststrom führen,

c) den Zusatzverlusten, als die man die Differenz zwischen den wirklich auftretenden Gesamtverlusten und der Summe der übrigen in Ziff. **9.5** angeführten Verluste definiert.

Erläuterung: Die Zusatzverluste bestehen aus folgenden Anteilen:

1. Zusatzverluste im Eisen und in nicht aktiven Metallteilen (aktives Eisen, Pole, Pressteile und Verschalungen).
2. Zusatzverluste in den stromführenden Leitern.
3. Zusätzliche Bürstenverluste, hervorgerufen durch die Kommutierung.

Es wird angenommen, dass die Zusatzverluste sich mit dem Quadrat des Stromes ändern. Ihre Temperaturabhängigkeit wird nach diesen Regeln nicht berücksichtigt.

Die einzelnen Verluste werden nach den in diesen Regeln vorgeschriebenen Methoden gesondert bestimmt. Ihre Summe wird als Gesamtverluste der Maschine bezeichnet und der Berechnung des Wirkungsgrades zugrunde gelegt.

Für Synchronmaschinen siehe Ziff. **10**.

Für Mehrphasen-Induktionsmaschinen siehe Ziff. **11**.

Für Gleichstrommaschinen siehe Ziff. **12**.

10 Bestimmung der Einzelverluste bei Synchronmaschinen

10.1 Bestimmung der Leerverluste bei Synchronmaschinen

Man bestimmt den im Leerlauf bei Nennspannung und Nenndrehzahl auftretenden Wert nach einer der folgenden Methoden (vgl. Ziff. **10.4**):

a) Messung im Leerlauf als Motor
b) Messung im Auslauf
c) Messung mit geeichtem Hilfsmotor
d) Messung mit der elektrodynamischen Drehmomentwaage
e) Kalorimetrische Bestimmung

Mit diesen Methoden hat man auch die Möglichkeit, die mechanischen Verluste von den Eisenverlusten zu trennen.

10.2 Bestimmung der Erregungsverluste bei Synchronmaschinen

10.2.1 *Stromwärmeverluste in der Erregerwicklung*

Die Grösse des Erregerstromes, aus dem man die Erregungsverluste berechnet, wird für jeden Betriebszustand, für den der Wirkungsgrad zu ermitteln ist, nach den in Ziff. **13.5** festgelegten Methoden bestimmt.

Zur Ermittlung der Stromwärmeverluste wird der mit Gleichstrom bei der Wicklungstemperatur ϑ (in °C) ermittelte Widerstand R_ϑ der Erregerwicklung auf die Bezugstemperatur umgerechnet (siehe Ziff. **9.1**).

10.2.2 *Stromwärmeverluste im Stellwiderstand*

Diese Verluste werden aus dem beim betrachteten Betriebszustand tatsächlich eingeschalteten Widerstand und dem Erregerstrom, bestimmt nach Ziff. **13.5**, berechnet. Sie sind auch gleich dem Produkt aus Erregerstrom bei Last und dem am Stellwiderstand liegenden Teil der Erregerspannung.

10.2.3 *Übergangsverluste an den Schleifringen*

Für die Berechnung der Übergangsverluste an den Schleifringen ist pro Bürste ein Spannungsabfall von

1 V bei Kohle- und Graphitbürsten
0,3 V bei metallhaltigen Bürsten

einzusetzen.

Bemerkung:

Die Summe der Verluste nach den Ziff. **10.2.1**, **10.2.2** und **10.2.3** ist gleich der Nutzleistung der Erregermaschine, d. h. gleich dem Produkt aus Erregerstrom bei Last und totaler Erregerspannung.

10.2.4 *Verluste in der Erregermaschine (nur bei Eigenerregung)*

Diese Verluste umfassen die Differenz aus der an der Welle der Erregermaschine aufgenommenen Leistung und deren Nutzleistung (siehe Bemerkung zu Ziff. **10.2.3**), die Verluste in deren Energie-Übertragung (Getriebe, elektrische Welle, Gleichrichter usw.) und die Erregungsverluste bei Fremderregung der erwähnten Maschinen.

Bei *mechanisch* durch die Hauptmaschine angetriebener Erregermaschine können die Verluste nach folgenden Verfahren bestimmt werden:

Wenn die Erregermaschine von der Hauptmaschine abgekuppelt und für sich geprüft werden kann, so kann die an der Welle aufgenommene Leistung mittels geeichten Hilfsmotors oder Drehmomentwaage gemessen werden (siehe Ziff. **9.2**).

Kann dagegen die Erregermaschine nicht abgekuppelt werden, so kann die aufgenommene Leistung aus dem Leerlauf als Motor, mittels geeichten Hilfsmotors bzw. Drehmomentwaage oder aus dem Auslaufversuch (die Methoden angewendet auf die ganze Gruppe) bestimmt werden. Nach diesen drei Methoden wird die aufgenommene Leistung der Erregermaschine als Differenz der Verluste der ganzen Gruppe, einmal bei belastetem und einmal bei unerregtem Erreger bei sonst gleichen Betriebsbedingungen, erhalten. Die Erregung der Hauptmaschine erfolgt hiebei durch eine fremde Stromquelle.

Erläuterung: Genau genommen wird nach diesen Methoden die Differenz aus der aufgenommenen Leistung und den mechanischen Verlusten der Erregermaschine ermittelt. Die mechanischen Verluste der Erregermaschine sind in den mechanischen Verlusten der Hauptmaschine inbegriffen.

Wenn keine dieser Methoden anwendbar ist, wird die aufgenommene Leistung der Erregermaschine aus der abgegebenen Leistung und den Einzelverlusten bestimmt. Die mechanischen Verluste werden jedoch zusammen mit den mechanischen Verlusten der Hauptmaschine gemessen und sind nicht mehr zu berücksichtigen.

Bei *elektrischer Energie-Übertragung* können die Verluste analog bestimmt werden.

Die Verluste der Erregermaschine (einschliesslich der Verluste in deren Energieübertragung) oder wenigstens die durch Messung nur ungenau oder schwierig zu bestimmenden Anteile können nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer durch Übernahme der gerechneten Verluste berücksichtigt werden.

10.2.5 *Verluste in Hilfsgeräten*

Die Methode zur Bestimmung der Verluste in den Geräten, welche zur Selbsterregung und Spannungsregelung dienen und ihre aufgenommene Leistung dem an den Klemmen der Maschine liegenden Wechselstromnetz entnehmen, ist zwischen Hersteller und Käufer zu vereinbaren.

10.3 Bestimmung der Lastverluste bei Synchronmaschinen

10.3.1 *Stromwärmeverluste*

Die Stromwärmeverluste werden aus dem mit Gleichstrom gemessenen, auf die Bezugstemperatur umgerechneten (siehe Ziff. **9.1**) Widerstand der Ankerwicklung errechnet.

10.3.2 *Zusatzverluste*

Bei Garantien für den nach der Einzelverlustmethode bestimmten Wirkungsgrad ist die Methode für die Bestimmung der Zusatzverluste festzulegen. Sofern nichts anderes verein-

bart wird, sind die im Kurzschlussversuch ermittelten Zusatzverluste massgebend.

Die Zusatzverluste können nach folgenden Methoden gemessen werden:

10.3.2.1 Im Kurzschlussversuch

Die Maschine wird im allpoligen Dauerkurzschluss bei Nenndrehzahl und dem Wert des Ankerstromes, für den die Verluste bestimmt werden sollen, angetrieben und mit Vorteil fremd erregt. Die Zusatzverluste sind in diesem Betriebszustand gleich der Differenz zwischen den gesamten beim Versuch auftretenden Verlusten in diesem Betriebszustand und der Summe der beim Versuch auftretenden mechanischen, Erregungs- und Stromwärmeverluste.

Die verschiedenen Versuchsmöglichkeiten sind (vgl. Ziff. **10.4**):

a) Messung im Auslauf
b) Messung mit geeichtem Hilfsmotor
c) Messung mit der elektrodynamischen Drehmomentwaage
d) Kalorimetrische Bestimmung

Bemerkung:

Die im Kurzschlussversuch ermittelten Zusatzverluste können grösser sein als die nach Ziff. **9.5.3** c) definierten Zusatzverluste bei Belastung, infolge des stark verzerrten Luftspaltfeldes und der veränderten Sättigungs-Verhältnisse im Kurzschluss.

10.3.2.2 Bei ausgebautem Rotor (nur für Mehrphasen-Synchronmaschinen)

Die Ankerwicklung wird bei ausgebautem Rotor, mit Verschalung allpolig mit sinusförmigem, symmetrischem Mehrphasenstrom von Nennfrequenz und der Stromstärke, für die die Verluste bestimmt werden sollen, gespeist. Die Zusatzverluste werden dann gleich der Differenz der dabei gemessenen gesamten Verluste und der beim Versuch auftretenden Stromwärmeverluste gesetzt.

Bemerkung:

Diese Methode würde richtige Werte liefern, wenn bei Belastung keine Zusatzverluste im Rotor auftreten würden. Sie liefert deshalb zu kleine Werte.

10.3.2.3 Als Blindleistungsmaschine mit reduzierter Spannung

Die Synchronmaschine wird im Leerlauf als übererregter Motor (d. h. als Blindleistungsmaschine) mit Nennfrequenz und stark reduzierter Spannung (z. B. $^1/_3$ des Nennwertes) betrieben und der Ankerstrom mit Hilfe der Erregung auf den Wert eingestellt, für den die Verluste bestimmt werden sollen. Die Zusatzverluste sind in diesem Betriebszustande gleich der Differenz der beim Versuch durch den Anker aufgenommenen Leistung und der Summe der beim Versuch auftretenden mechanischen, Eisen- und Stromwärmeverluste (bei Eigenerregung auch der Erregungsverluste). Die Eisenverluste werden entsprechend der Klemmenspannung beim Versuch eingesetzt.

10.4 Ausführungsregeln zur Bestimmung der Eisen-, mechanischen und Zusatzverluste bei Synchronmaschinen

10.4.1 *Messung im Leerlauf als Motor*

10.4.1.1 Bestimmung der Leerverluste

Die Maschine wird als leerlaufender Synchronmotor an ein Netz von Nennfrequenz und Nennspannung angeschlossen, und der Erregerstrom so eingestellt, dass der Ankerstrom den Mindestwert annimmt ($\cos\varphi = 1$). Die mit elektrischen Messgeräten bestimmte, durch den Anker aufgenommene Leistung, vermindert um die beim Versuch auftretenden Erregungsverluste bei Eigenerregung und die meist vernachlässigbar kleinen Lastverluste, stellt die Leerverluste der Synchronmaschine bei Nennspannung dar.

10.4.1.2 Trennung der Leerverluste

Die Leerverluste werden bei verschiedenen Werten der Klemmenspannung bestimmt, und zwar soweit hinunter, bis die Maschine ausser Tritt fällt. Da bei der Klemmenspannung null die Eisenverluste ebenfalls gleich null sind, erhält man aus der Extrapolation der Leerverluste auf die Klemmenspannung null die mechanischen Verluste. Diese Extrapolation soll so vorgenommen werden, dass die Leerverluste über dem Quadrat der Klemmenspannung aufgetragen werden. Diese Hilfskurve verläuft bei kleinen Werten der Klemmenspannung fast geradlinig und kann daher sehr genau extrapoliert werden. Nachdem so die mechanischen Verluste bestimmt sind, sind auch die Eisenverluste für sich allein bekannt und lassen sich in Funktion der Klemmenspannung auftragen.

Erläuterung: Diese Methode ist sehr bequem, weil die Maschine mit keiner anderen Maschine gekuppelt werden muss und lediglich eine Wechselspannung von Nennfrequenz und einstellbarem Spannungswert bei relativ kleiner Leistung benötigt wird.

10.4.2 *Messung im Auslauf*

Bei der Auslaufmethode wird die Synchronmaschine auf eine 10...20 % über der Nenndrehzahl liegende Drehzahl gebracht und dann sich selbst überlassen. Unter dem Einfluss ihrer Verluste wird sie allmählich abgebremst, so dass aus der Messung der Drehzahl in Funktion der Zeit die Verluste ermittelt werden können.

10.4.2.1 Hochfahren der Maschine

Steht eine passende Wechselspannung von variabler Frequenz zur Verfügung, so kann die Maschine im synchronen Betrieb als leerlaufender Motor hochgefahren werden (Kombination mit dem Versuch nach **10.4.1**). In diesem Fall braucht sie mit keiner anderen Maschine mechanisch gekuppelt zu werden. Der Auslaufversuch wird durch Unterbrechen der Energiezufuhr eingeleitet.

Oft genügt zum Hochfahren der angekuppelte Erreger.

Handelt es sich um einen Generator, der bereits mit seinem Primärmotor zusammengebaut ist, so kann er unter Umständen auch mit dessen Hilfe hochgefahren werden. Bei einer Peltonturbine wird dann der Auslaufversuch eingeleitet, indem durch den Schnellschluss die Energiezufuhr der Turbine abgestellt wird.

Erläuterung: Man misst auf diese Art allerdings die Verluste der Turbine mit, und nur, wenn diese schon bekannt sind, können die Leerverluste des Generators allein ermittelt werden. Beim Antrieb durch langsam laufende Wasserturbinen ist diese Art des Hochfahrens nicht möglich, weil das Wasser nicht rasch genug aus der Turbinenkammer entfernt werden kann, und die Verluste nur dann richtig gemessen werden, wenn die Turbinenkammer vollständig entleert ist. Auch bei Generatoren mit Dampfturbinenantrieb darf der Auslaufversuch nur mit abgekuppelter Turbine durchgeführt werden.

10.4.2.2 Messungen

Der Versuch wird am einfachsten so durchgeführt, dass in bestimmten Zeitabständen (z. B. auf ein Pfeifensignal) gleichzeitig alle interessierenden Messgeräte abgelesen werden. Die Drehzahl soll mit einer Tachometerdynamo, die mit der Synchronmaschine starr gekuppelt ist, gemessen werden; in der Regel kann dafür der angebaute Erreger oder Hilfserreger verwendet werden. Beim Leerlauf der Synchronmaschine dient ausserdem deren Klemmenspannung als Kontrolle für die Drehzahl. An Stelle der Tachometerdynamo können mit Vorteil auch elektronische digitale Drehzahlmesser verwendet werden.

Erläuterung: Da u. a. die Drehzahl*differenzen* in die Verlustformel eingehen (s. u.), kann die Genauigkeit dadurch gesteigert werden, dass man der Spannung der Tachometerdynamo eine Batterie-Spannung entgegenschaltet, die jene zum grossen Teil kompensiert. Man kann dann für die Differenzspannung ein Messgerät mit kleinerem Messbereich verwenden, wodurch die Messgenauigkeit erhöht wird.

Andere Methoden zur Bestimmung von $\frac{dn}{dt}$ oder $n\,\frac{dn}{dt}$ beim Auslaufversuch sind in der Fachliteratur zu finden[3]).

10.4.2.3 Auswertung

Für die Bestimmung der Verluste gilt:

$$P_v = J\omega\,\frac{d\omega}{dt}$$

oder, auf die bei der Messung üblichen Einheiten umgerechnet:

$$P_v = \frac{GD^2}{365}\,\frac{n}{1000}\,\frac{dn}{dt}$$

P_v sind die Verluste in kW
GD^2 ist das Schwungmoment in kg*m² (technische Masszahl von $GD^2 = 4 \times$ Giorgi-Masszahl des Trägheitsmomentes J)
n ist die Drehzahl in U./min
t ist die Zeit in s.

Bei der Auswertung des Auslaufversuches wird am einfachsten die Drehzahl n in Funktion der Zeit t aufgetragen

[3]) z. B. Bull. SEV Bd. 28(1937), Nr. 23, S. 599...600.

und der Differentialquotient $\frac{dn}{dt}$ graphisch durch Einzeichnen der Tangente bestimmt. Ebenso genau ist unter Umständen die Wahl von zwei Messpunkten, die gleichviel über und unter der Nenndrehzahl liegen und den Quotienten $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ bilden (Rechnung mit Sekante statt mit Tangente).

Man kann auch aus den Differenzen Δn und Δt zwischen je 2 aufeinanderfolgenden Messpunkten die Quotienten $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ bilden und diese Werte über der Drehzahl auftragen. Durch die so erhaltenen Punkte, die etwas streuen werden, zieht man eine flüssige Kurve (in vielen Fällen ist es nahezu eine Gerade) und kann auf diese Art mit guter Genauigkeit den Wert von $\frac{dn}{dt}$ für die Nenndrehzahl ermitteln.

10.4.2.4 Anwendung

Die Auslaufversuche im Leerlauf und Kurzschluss gestatten die Bestimmung aller Leer- und Lastverluste, sofern das Trägheitsmoment der Synchronmaschine (evtl. inklusive Antriebsmaschine) bereits bekannt ist.

Die *mechanischen* Verluste allein erhält man durch einen Auslaufversuch im Leerlauf mit vollständig unerregter Maschine.

Die *Leerverluste* erhält man durch einen Auslaufversuch im Leerlauf, wobei die Erregung so eingestellt wird, dass sich bei Nenndrehzahl die Nennspannung einstellt.

Die *Zusatzverluste* inklusive mechanische und Stromwärmeverluste erhält man durch einen Auslaufversuch im Kurzschluss, wobei die Erregung so eingestellt wird, dass sich bei Nenndrehzahl der Wert des Ankerstromes ergibt, für den die Verluste zu bestimmen sind. Um die Zusatzverluste allein zu erhalten, müssen dann lediglich von der aus dem Auslauf ermittelten Verlustleistung die vorher bestimmten mechanischen Verluste und die beim Versuch aufgetretenen Stromwärmeverluste subtrahiert werden.

Bei den Auslaufversuchen ist die Synchronmaschine fremd zu erregen, da der Erregerstrom während des Versuchs genau konstant gehalten werden muss.

Ist das *Trägheitsmoment* der Synchronmaschine (bzw. Synchron- und Antriebsmaschine) nicht bekannt, so liefern die Auslaufversuche zusammen mit den Versuchen als leerlaufender Synchronmotor alle Leer- und Lastverluste und ermöglichen überdies die Bestimmung des Trägheitsmomentes.

Man misst in diesem Fall z. B. zunächst beim Versuch mit dem leerlaufenden Synchronmotor nach Ziff. 10.4.1 bei Nenndrehzahl und Nennspannung die Leerverluste und führt nachher den Auslaufversuch im Leerlauf durch, wobei die Erregung so eingestellt wird, dass sich bei Nenndrehzahl die Nennspannung einstellt. Da dann die Verluste in diesem Betriebszustand bereits bekannt sind, kann aus der angegebenen Formel das Trägheitsmoment ermittelt werden.

Erläuterung: Die Auslaufversuche sind bequem durchzuführen, da die Maschine mit keiner Hilfsmaschine mechanisch gekuppelt werden muss. Die Auslaufmethode eignet sich besonders für grosse und mittlere Maschinen, die durch die Verluste nicht zu rasch abgebremst werden .

10.4.3 *Messung mit geeichtem Hilfsmotor*

Die Synchronmaschine wird durch einen geeichten Hilfsmotor angetrieben. Die vom Hilfsmotor aufgenommene Leistung wird mit elektrischen Messgeräten bestimmt und ist, nach Subtraktion der Verluste im Hilfsmotor, gleich

den *mechanischen Verlusten*, wenn die Synchronmaschine vollständig unerregt ist,

den *Leerverlusten* (inkl. Erregungsverluste bei Selbst- und Eigenerregung), wenn die Synchronmaschine auf Nennspannung erregt ist,

der Summe der *Stromwärmeverluste im Anker* (bei der beim Versuch auftretenden Wicklungstemperatur), der *mechanischen Verluste*, und der *Zusatzverluste* (und der Erregungsverluste bei Eigenerregung), wenn die Synchronmaschine im Kurzschluss angetrieben und so erregt wird, dass sie den Strom führt, für den die Verluste bestimmt werden sollen.

Erläuterung: Die Methode hat den Nachteil, dass die Maschine mit einem Hilfsmotor gekuppelt werden muss und dass die Verluste dieses letztern genau bekannt sein müssen.

10.4.4 *Messung mit der elektrodynamischen Drehmomentwaage*

Die Synchronmaschine wird mit einer elektrodynamischen Drehmomentwaage gekuppelt und von dieser angetrieben. Das auf die Synchronmaschine übertragene Drehmoment wird dabei direkt gemessen und daraus die aufgenommene Leistung bestimmt (siehe auch Ziff. 9.2).

Es können genau die gleichen Messungen ausgeführt werden wie mit dem geeichten Hilfsmotor.

10.4.5 *Kalorimetrische Bestimmung*

Die Synchronmaschine wird durch irgend einen Motor angetrieben, einmal im Leerlauf, das andere Mal im Kurzschluss. Die Verluste werden kalorimetrisch gemessen.

Auch hier können die gleichen Messungen ausgeführt werden wie mit geeichtem Hilfsmotor.

10.4.6 *Bestimmungen der Verluste in gemeinsamen Lagern*

Die nach Ziff. 9.1 c) separat angegebenen Verluste eines gemeinsamen Lagers (gegebenenfalls mit Einbezug eines mit dem Traglager kombinierten Führungslagers) können kalorimetrisch gemessen werden. Der Lieferant des gemeinsamen Lagers trifft im Rahmen des Möglichen die für die Durchführung kalorimetrischer Messungen erforderlichen konstruktiven Vorkehrungen. Die Messungen können nötigenfalls bei verschiedenen Lagerbelastungen durchgeführt werden, z. B. auf dem Versuchsstand mit der elektrischen Maschine allein, im Betrieb bei verschiedenen Leistungen derselben. Das Lager muss bei allen Versuchen seine normale Betriebstemperatur aufweisen. Wenn bei der Messung der Verluste in gemeinsamen Lagern deren Belastung nicht den festgelegten Garantiepunkten entspricht, oder wenn Unterschiede zwischen der berechneten und der tatsächlichen Lagerbelastung festgestellt worden sind, so darf für die Umrechnung angenommen werden, dass sich die Verluste mit der Wurzel aus der Lagerbelastung ändern. Bei einem kombinierten Trag- und Führunglager sind die Verluste des Führungslagers nicht in die Umrechnung einzubeziehen. Zur Berücksichtigung von Konvektion und Strahlung ist ein Zuschlag von höchstens 10 % auf die aus der Temperaturerhöhung des Kühlmittels und dessen Menge bestimmte Verlustleistung zu machen.

11 Bestimmung der Einzelverluste bei Mehrphasen-Induktionsmaschinen

11.1 Bestimmung der Leerverluste bei Mehrphasen-Induktionsmaschinen

Die Maschine wird als leerlaufender Motor bei Nennspannung und Nennfrequenz betrieben. Die dabei aufgenommene Leistung abzüglich der beim Versuch entstandenen primären Stromwärmeverluste bezeichnet man als die Leerverluste der Maschine.

Die Trennung der Leerverluste in die mechanischen und die Eisenverluste, die in manchen Fällen nötig sein wird [z. B. bei Maschinen, die bei der Prüfung in Lagern fremder Lieferung laufen, vgl. Ziff. 9.1 c)], erfolgt nach einer der folgenden Methoden:

a) Leerlaufmessung bei veränderlicher Spannung. Man bestimmt die Leerverluste für verschiedene Spannungen bis auf ca. 15...30 % der Nennspannung hinunter. Die über dem Quadrat der Spannung aufgezeichneten Leerverlustwerte liegen annähernd auf einer Geraden, die, gegen Null verlängert, auf der Leerverlustachse die mechanischen Verluste abschneidet.

b) Messung der mechanischen Verluste im Auslauf bei bekanntem Trägheitsmoment.

c) Messung der mechanischen Verluste mit geeichtem Hilfsmotor.

d) Messung der mechanischen Verluste mit der elektrodynamischen Drehmomentwaage.

Die Ausführung der Messungen nach diesen 4 Methoden erfolgt in sinngemässer Anwendung der für die Synchronmaschinen geltenden Ausführungsregeln, Ziff. 10.4.1...10.4.4.

11.2 Bestimmung der Lastverluste bei Mehrphasen-Induktionsmaschinen

Die Lastverluste werden nach einer der folgenden Methoden ermittelt:

a) Belastung bei Nennspannung. Diese Methode eignet sich besonders für kleine und mittlere Maschinen.

b) Belastung bei reduzierter Spannung. Diese Methode eignet sich besonders für grosse Maschinen und dann, wenn das Kreisdiagramm nicht verwendet werden kann (Maschinen mit starker Stromverdrängung im Rotor).

c) Kreisdiagramm. Diese Methode eignet sich für Maschinen mit mässiger Stromverdrängung im Rotor.

11.2.1 *Belastung bei Nennspannung*

Bei Nennfrequenz und Nennspannung und bei jeder Belastung, für welche der Wirkungsgrad der Induktionsmaschine ermittelt werden soll, misst man die aufgenommene Leistung, den primären Strom und den Schlupf und berechnet die Lastverluste folgendermassen:

11.2.1.1 Primäre Stromwärmeverluste

Die primären Stromwärmeverluste werden aus dem gemessenen Laststrom und dem auf Bezugstemperatur umgerechneten Gleichstromwiderstand (Ziff. **9.1**) der primären Wicklung berechnet.

11.2.1.2 Sekundäre Stromwärmeverluste

Die sekundären Stromwärmeverluste, inklusive eventuellen Übergangsverlusten an den Schleifringen, erhält man aus der auf den Rotor übertragenen Leistung $P_{12} = P_1 - P_{\varrho_1}$ und dem Schlupf:

$$P_{\varrho_2} = P_{12}\, s$$

worin

P_1 die aufgenommene Leistung,
P_{ϱ_1} die primären Stromwärmeverluste bei der Bezugstemperatur,
P_{ϱ_2} die sekundären Stromwärmeverluste bei der Bezugstemperatur,
s den Schlupf bei der Bezugstemperatur bedeuten.

Erläuterung: Bei der Berechnung von P_{12} sollten ausser P_{ϱ_1} noch die Grundfeld-Eisenverluste abgezogen werden. Doch wird darauf verzichtet, da der Fehler geringfügig ist und zur genauen Ermittlung dieser Verluste Spezialversuche notwendig wären. Die Leerverluste inkl. Eisenverluste werden bei der Kontrolle der Garantien nach Ziff. **11.2.1.4** ermittelt.

Hat jedoch die Rotorwicklung bei der Messung eine andere Temperatur als die Bezugstemperatur, so rechnet man den gemessenen Schlupf nach dem Rotorwiderstand, oder wenn dies, wie bei Kurzschlussankermotoren, nicht möglich ist, angenähert nach dem Statorwiderstand um.

Also

$$s = s_\vartheta \frac{R_2}{R_{2\vartheta}} \text{ oder}$$

$$s = s_\vartheta \frac{R_1}{R_{1\vartheta}}, \text{ wo}$$

R_2, R_1 der Rotor-, bzw. Statorwiderstand bei der Bezugstemperatur,
$R_{2\vartheta}$, $R_{1\vartheta}$ der Rotor-, bzw. Statorwiderstand bei der Schlupfmessung,
s_ϑ der gemessene Schlupf ist.

Der Schlupf soll wenn irgend möglich stroboskopisch, z. B. mit einer an den Motorklemmen angeschlossenen Glimmlampe gemessen werden.

11.2.1.3 Zusätzlicher Verluste von Induktionsmaschinen

Für die zusätzlichen Verluste von Induktionsmaschinen wird vorläufig keine Messmethode angegeben. Sofern keine anderen Abmachungen getroffen werden, nimmt man an, dass die Zusatzverluste bei Nennlast 0,5 % der abgegebenen Leistung betragen und sich mit dem Quadrat des primären Stromes ändern.

11.2.1.4 Abgegebene Leistung

Die abgegebene Leistung wird berechnet, indem von der gemessenen aufgenommenen Leistung die Leerverluste (Ziff. **11.1**) und Lastverluste (Ziff. **11.2.1.1**...**11.2.1.3**) abgezogen werden. Weicht die so berechnete abgegebene Leistung von der Nennleistung oder derjenigen Leistung ab, für welche Garantien ermittelt werden sollen, so wird das Verfahren mit einer korrigierten aufgenommenen Leistung wiederholt, oder die richtigen Werte werden durch Interpolation bestimmt.

11.2.2 *Belastung bei reduzierter Spannung*

11.2.2.1 Methode 1

Bei reduzierter Spannung vermindern sich — bei gleichbleibender Drehzahl der Induktionsmaschine — die Ströme annähernd linear, die Leistungen annähernd quadratisch proportional mit der Spannung. Bei halber Nennspannung sind also z. B. die Ströme etwa zweimal und die Leistungen etwa viermal kleiner als bei Nennspannung.

Bei der Belastung des Induktionsmotors bei der reduzierten Spannung U_r misst man die aufgenommene Leistung P_{1r}, den primären Strom I_{1r} und den Schlupf s. Ebenfalls müssen auch die Leerlaufströme I_{0r} bei derselben reduzierten Spannung U_r sowie I_0 bei der Nennspannung U_n gemessen werden.

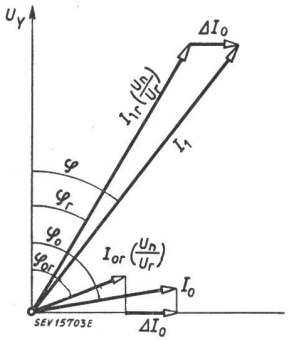


Fig. 3
Vektordiagramm der Induktionsmaschine für die Bestimmung des Stromvektors I_1
U_Y Sternspannung; I_{0r}, I_{1r}, φ_r bei der reduzierten Spannung U_r gemessene Werte; I_0, I_1, φ bei Nennspannung U_n auftretende Werte

Den Stromvektor des Laststromes I_1 bei Nennspannung erhält man, indem das Vektordiagramm Fig. 3 konstruiert wird.

Die Konstruktion des Diagrammes geht folgendermassen vor sich:

Zu dem mit dem Verhältnis

$$\frac{\text{Nennspannung}}{\text{reduzierte Spannung}} = \frac{U_n}{U_r}$$

multiplizierten Stromvektor I_{1r} addiert man den Vektor

$$\Delta I_0 = I_0 \sin \varphi_0 - I_{0r}\left(\frac{U_n}{U_r}\right) \sin \varphi_{0r}$$

Der resultierende Vektor stellt denjenigen Strom dar, der bei der Nennspannung U_n und einer aufgenommenen Leistung $P_1 = P_{1r}\left(\frac{U_n}{U_r}\right)^2$ auftreten würde.

Mit den so ermittelten Werten I_1, P_1 und dem bei reduzierter Spannung gemessenen Schlupf s werden die Lastverluste wie bei Ziff. **11.2.1** berechnet.

Erläuterung: Diese Methode gibt annähernd richtige Ergebnisse, wenn der Laststrom I_1 in den linearen Bereich der Kurzschlusscharakteristik fällt. Fällt er dagegen in den gekrümmten Bereich, so ist der wirkliche Leistungsfaktor und Wirkungsgrad etwas höher als nach dieser Methode berechnet.

11.2.2.2 Methode 2

Ist das Kuppeln des Prüflings mit einer Belastungsmaschine, auch einer solchen mit reduzierter Leistung nach **11.2.2.1**, mit grossen Schwierigkeiten verbunden, so wird am geprüften Motor im Leerlauf die Spannung nach der Formel

$$U_r = U_n \sqrt{\frac{P_{mec}}{P_n + P_{mec}}}$$

reduziert, d. h. der Motor wird mit seinen eigenen mechanischen Verlusten belastet (P_{mec} sind die nach Ziff. **11.1** gemessenen mechanischen Verluste, P_n ist die Nennleistung).

Bei der reduzierten Spannung U_r werden die aufgenommene Leistung P_{1r}, der primäre Strom I_{1r} und der Schlupf s gemessen. Die aus diesen Messwerten berechneten mechanischen Verluste

$$P_{mec} = [P_{1r} - 3\, I_{1r}^2\, R_1]\,(1-s)$$

müssen der Gleichung $U_r = U_n \sqrt{P_{mec}/(P_n + P_{mec})}$ genügen, andernfalls ist der Versuch bei einer entsprechend geänderten Spannung U_r zu wiederholen.

Der Vektor des Laststromes I_1 bei Nennspannung wird wie in Fig. 3 konstruiert, wobei jedoch ΔI_0 der Leerlaufstrom-Charakteristik als Differenz des Leerlaufstromes und des Luft-

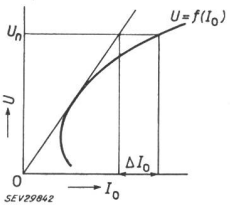


Fig. 4
Leerlaufkennlinie der Induktionsmaschine zur Bestimmung von ΔI_0
(Bezeichnungen siehe im Text)

spaltleerlaufstromes bei Nennspannung entnommen wird (Fig. 4). Die Lastverluste werden dann wie in Ziff. **11.2.2.1** berechnet.

Bezüglich Genauigkeit reiht sich die Methode **11.2.2.2** hinter jene nach **11.2.2.1** und **11.2.1**.

11.2.3 *Kreisdiagramm*

Die Lastverluste dürfen aus dem Kreisdiagramm nach der im folgenden beschriebenen Methode nur bei Induktionsmaschinen mit mässiger Stromverdrängung im Rotor ermittelt werden. Als Induktionsmaschinen mit mässiger Stromverdrängung im Rotor gelten alle Induktionsmaschinen mit Schleifringanker und einfachem Käfiganker, deren einzelne Leiter in der Rotornut nicht höher als $1{,}6\sqrt{\frac{50}{f_n}}$ cm bei Kupfer und $2\sqrt{\frac{50}{f_n}}$ cm bei Aluminium sind (f_n Nennfrequenz).

Man macht den Kurzschlussversuch bei Nennfrequenz und langsamem Drehen des Rotors (höchstens 5 % der synchronen Drehzahl) und bei dem Kurzschlußstrome I_{cr}, der gleich dem Strom I_1 ist, für den man die Lastverluste ermitteln will. Dabei misst man ausser der Spannung U_{cr} und dem Strom I_{cr} auch die aufgenommene Leistung und ermittelt daraus den Kurzschluss-Leistungsfaktor $\cos\varphi_c$. Den gemessenen Kurzschlußstrom I_{cr} rechnet man auf die Nennspannung U_n um:

$$I_c = I_{cr}\left(\frac{U_n}{U_{cr}}\right)$$

und trägt ihn als Vektor mit dem Kurzschluss-Phasenwinkel φ_c zum Spannungsvektor U_Y auf (Fig. 5). Der bei Nennspannung gemessene Leerlaufstrom I_0 wird ebenfalls als Vektor (mit dem Leerlauf-Phasenwinkel φ_0) eingezeichnet.

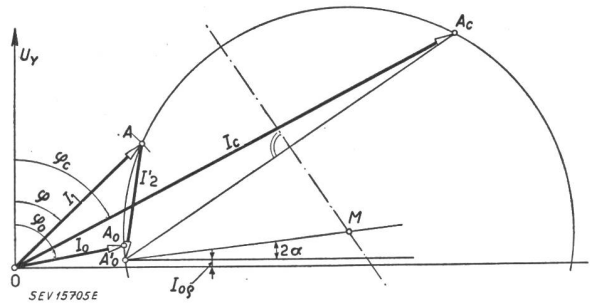


Fig. 5

Kreisdiagramm für Induktionsmaschine

I_c Kurzschlußstrom primär; I_1 Laststrom primär; I_2' auf Primärseite reduzierter Laststrom sekundär; I_0 Leerlaufstrom

Dadurch erhält man die Punkte A_c und A_0. Den Kreispunkt A'_0 bestimmt man von A_0 ausgehend so, dass er von der Blindachse den Abstand $I_{0\varrho}$ hat, eventuell unter Zuhilfenahme eines provisorisch angenommenen Kreismittelpunktes.

$$I_{0\varrho} = \frac{I_0^2 R_1}{U_Y}$$

ist der den Stromwärmeverlusten bei Leerlauf entsprechende Wirkstrom.

Erläuterung: Man verzichtet bei der Bestimmung des Punktes A'_0 auf die Berücksichtigung der Grundfeld-Eisenverluste, da ihre Berücksichtigung auf die Genauigkeit des Kreisdiagrammes praktisch keinen Einfluss hätte (vgl. Erläuterung unter Ziff. **11.2.1.2**).

Durch die Punkte A'_0 und A_c, sowie durch den Wert

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\, I_0 R_1}{U_Y}$$

ist der Kreis bestimmt.

$U_Y = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$ ist der Nennwert der Sternspannung, R_1 der Phasenwiderstand der in Stern geschalteten oder auf Stern umgerechneten Statorwicklung (Sternwiderstand).

Trägt man in das Kreisdiagramm den Laststrom $I_1 = \overline{0A}$ ein, so erhält man den zugehörigen Leistungsfaktor $\cos\varphi$ sowie den sekundären, auf die Primärseite reduzierten Laststrom $I_2' = \overline{AA'_0}$. Sollen die Lastverluste für verschiedene Belastungen ermittelt werden, so genügt es, für Lastströme, die in den linearen Teil der Kurzschlusscharakteristik fallen, ein gemeinsames Kreisdiagramm zu zeichnen; für jeden Laststrom jedoch, der in den gekrümmten Teil der Kurzschlusscharakteristik fällt, muss ein besonderes Kreisdiagramm gezeichnet werden. (Der lineare Teil der Kurzschlusscharakteristik erstreckt sich meistens bis etwa zum 0,8...1,2fachen Nennstrom).

Bei Induktionsmaschinen mit *Schleifringanker* misst man ausserdem bei Nennspannung das Spannungsübersetzungsverhältnis im Stillstand bei offener Rotorwicklung $\frac{U_n}{U_{20}}$. Der sekundäre Strom ist dann

$$I_2 = I_2' \frac{U_n}{U_{20}}$$

unter der Voraussetzung, dass primäre und sekundäre Phasenzahlen gleich sind.

Mit diesem Strom berechnet man die sekundären Stromwärmeverluste aus dem auf Bezugstemperatur umgerechneten (Ziff. **9.1**) Gleichstromwiderstand der Rotorwicklung sowie die eventuellen Übergangsverluste an den Schleifringen aus dem Spannungsabfall unter den Bürsten (wie in Ziff. **10.2**).

Bei Induktionsmaschinen mit *Käfiganker* misst man ausserdem den Schlupf, die aufgenommene Leistung und den primären Strom bei Nennspannung

1. bei Leerlauf (s_0, P_{10}, I_0)
2. bei geringer Belastung, bis zu ca. 25 % der Nennlast (s, P_1, I_1).

Den gemessenen Schlupf rechnet man allenfalls auf die Bezugstemperatur um. Der bei der Belastung wirksame, reduzierte, sekundäre Widerstand ist:

$$R_2' = m_1 U_Y^2 \frac{s - s_0}{P_{12} - P_0}$$

$$P_{12} = P_1 - m_1 I_1^2 R_{1\vartheta}\ ;\ P_0 = P_{10} - m_1 I_0^2 R_{1\vartheta}$$

$R_{1\vartheta}$ primärer Widerstand (Sternwiderstand) bei der Schlupfmessung

U_Y primäre Sternspannung

m_1 primäre Phasenzahl

Die sekundären Stromwärmeverluste sind

$$P_{\varrho 2} = m_1\ I_2'^2 R_2'$$

Erläuterung: Die Gleichung für $P_{\varrho 2}$ ist theoretisch genau. Der nach obiger Methode ermittelte Widerstand R_2' ist um den Faktor $(1+\tau_1)^2$ grösser, als der aus dem Windungsübersetzungsverhältnis ermittelte, reduzierte sekundäre Widerstand (τ_1 ist der primäre Streukoeffizient).

Die primären Stromwärmeverluste und die Zusatzverluste berechnet man mit dem aus dem Kreisdiagramm ermittelten Strom wie unter Ziff. **11.2.1**.

12 Bestimmung der Einzelverluste bei Gleichstrommaschinen

12.1 Bestimmung der Leerverluste bei Gleichstrommaschinen

Die Leerverluste von Gleichstrommaschinen können nach einer der folgenden Methoden bestimmt werden:

12.1.1 *Messung im Leerlauf als Motor*

Die Maschine wird als leerlaufender Motor an eine Spannung gleich der Nennspannung der Maschine gelegt. Die Erregung (vorzugsweise aus einer fremdem Stromquelle) wird so eingestellt, dass der Motor Nenndrehzahl hat. Vor der Messung wird die Maschine so lange laufen gelassen, bis die Lagertemperatur konstant ist.

Die durch den Ankerkreis aufgenommene elektrische Leistung, vermindert um die Stromwärmeverluste im Ankerkreis (Anker-, Wendepol-, Kompensations- und Reihenschlusserreger-Wicklung), die Übergangsverluste am Kommutator und bei Eigenerregung um die Erregungsverluste, ist der Leerverlust bei Nennspannung.

Die Änderung der Eisenverluste bei Belastung wird im allgemeinen als vernachlässigbar betrachtet. Bei relativ hohem Spannungsabfall im Ankerkreis kann nach besonderer Vereinbarung die Speisespannung gleich der inneren Spannung (Nennspannung der Maschine, beim Motor vermindert, beim Generator vermehrt um den Spannungsabfall im Ankerkreis bei Nennstrom und Bezugstemperatur) gewählt werden.

Die Trennung der Eisenverluste von den mechanischen Verlusten ist möglich, wenn man die Leerverluste für mehrere Spannungen bei Nenndrehzahl ermittelt (etwa Nennspannung bis hinunter zu Spannungswerten, wo der Ankerstrom zu-

zunehmen beginnt). Trägt man die Leerverluste in Funktion des Quadrates der Spannung auf, so erhält man aus der geradlinigen Extrapolation der Leerverluste auf die Spannung Null die mechanischen Verluste bei Nenndrehzahl.

12.1.2 *Messung im Auslauf*

Das Verfahren ist besonders für Maschinen mit grossem Trägheitsmoment geeignet. Man kann durch Aufnahme der Auslaufkurven bei erregter und unerregter Maschine mit und ohne Bürsten die Eisenverluste, die Lagerreibungs- und Ventilationsverluste und die Bürstenreibungsverluste getrennt bestimmen.

Zur Messung der totalen Leerverluste wird die Maschine auf Nennspannung bei Nenndrehzahl (bzw. innere Spannung bei relativ hohem Spannungsabfall im Ankerkreis) erregt.

Die Ausführung dieser Messungen erfolgt in sinngemässer Anwendung der Regeln für Synchronmaschinen (siehe Ziff. **10.4.2**).

12.1.3 *Messung mit geeichtem Hilfsmotor*

Die Maschine wird durch einen geeichten Hilfsmotor als leerlaufender Generator bei Nenndrehzahl angetrieben und vorzugsweise aus einer fremden Stromquelle auf Nennspannung (bzw. innere Spannung bei relativ hohem Spannungsabfall im Ankerkreis) erregt. Die durch den Hilfsmotor aufgenommene elektrische Leistung, vermindert um die Verluste im Hilfsmotor und um die Erregungsverluste bei Selbst- und Eigenerregung, ergibt die totalen Leerverluste bei Nennspannung. In gleicher Weise erhält man bei unerregter Maschine die mechanischen Verluste bei Nenndrehzahl. Die Eisenverluste sind die Differenz aus totalen Leerverlusten und mechanischen Verlusten. Schliesslich kann man durch Abheben der Bürsten bei unerregter Maschine die Lagerreibungs- und Ventilationsverluste bestimmen. Die Bürstenreibungsverluste sind die Differenz der mechanischen Verluste mit und ohne Bürsten.

12.1.4 *Messung mit der elektrodynamischen Drehmomentwaage*

Die Gleichstrommaschine wird von einer Drehmomentwaage passender Leistung als leerlaufender Generator angetrieben. Die durch die Drehmomentwaage abgegebene mechanische Leistung wird aus dem direkt gemessenen Drehmoment und der Drehzahl berechnet (siehe auch Ziff. **9.2**).

Es können die gleichen Messungen wie mit dem geeichten Hilfsmotor durchgeführt werden.

12.2 Bestimmung der Erregungsverluste bei Gleichstrommaschinen

12.2.1 *Stromwärmeverluste in der Erregerwicklung*

Die Stromwärmeverluste in der Erregerwicklung werden aus dem auf Bezugstemperatur umgerechneten Widerstand der Fremd- oder Nebenschluss-Erregerwicklung und dem Erregerstrom bei Last berechnet.

Wenn der Erregerstrom nicht direkt aus einem Belastungsversuch bekannt ist, nimmt man dessen Wert wie folgt an:

a) Bei Nebenschlussgeneratoren, mit und ohne Wendepole, zu 110 % des Erregerstromes entsprechend Leerlauf bei einer Spannung gleich der Nennspannung vergrössert um den Spannungsabfall im Ankerkreis.

b) Bei Generatoren mit Kompensationswicklung gleich dem Erregerstrom entsprechend Leerlauf bei einer Spannung gleich der Nennspannung vergrössert um den Spannungsabfall im Ankerkreis.

c) Bei Generatoren mit Flachverbunderregung gleich dem Erregerstrom entsprechend Leerlauf bei einer Spannung gleich der Nennspannung.

d) Bei den übrigen Doppelschlussgeneratoren und andern als unter a) bis c) aufgeführten Generatoren gleich dem zwischen Hersteller und Käufer vereinbarten Wert.

e) Bei Motoren gleich dem Erregerstrom entsprechend Leerlauf bei Nennspannung.

Der Erregerstrom ist für Vollast-Nenndrehzahl zu bestimmen, ausgenommen für den Fall c), wo der Erregerstrom der Leerlauf-Nenndrehzahl entsprechen muss.

12.2.2 *Stromwärmeverluste im Stellwiderstand*

Diese Verluste werden aus dem beim betrachteten Betriebszustand tatsächlich eingeschalteten Widerstand und dem Erregerstrom, bestimmt nach Ziff. **12.2.1**, berechnet. Sie sind auch gleich dem Produkt aus Erregerstrom bei Last und dem am Stellwiderstand liegenden Teil der Erregerspannung.

Bemerkung:

Die Summe der Verluste nach Ziff. **12.2.1** und **12.2.2** ist gleich der Nutzleistung der Erregermaschine, d. h. gleich dem Produkt aus Erregerstrom bei Last und totaler Erregerspannung.

12.2.3 *Verluste in der Erregermaschine (nur bei Eigenerregung)*

(siehe Ziff. **10.2.4**)

12.3 Bestimmung der Lastverluste bei Gleichstrommaschinen

12.3.1 *Stromwärmeverluste*

Die Stromwärmeverluste der Anker-, Wendepol-, Kompensations- und Reihenschlusserregerwicklung werden aus dem Laststrom und den gemessenen und auf Bezugstemperatur umgerechneten Wicklungswiderständen bestimmt.

Liegt parallel zu einer der Wicklungen ein Nebenwiderstand, so sind der resultierende Widerstand und der totale Laststrom einzusetzen.

Die Messung des Widerstandes der Ankerwicklung erfolgt nach dem in Ziff. **7.3.2** beschriebenen Verfahren.

Bei sehr kleinen Wicklungswiderständen ist auch die Bestimmung der Widerstände durch Berechnung zulässig.

12.3.2 *Übergangsverluste an den Kommutatoren*

Die Übergangsverluste werden aus dem Spannungsabfall an den Bürsten und dem Ankerstrom berechnet. Der totale Spannungsabfall für beide Polaritäten beträgt 2 V für Kohle- und Graphitbürsten und 0,6 V für metallhaltige Bürsten.

12.3.3 *Zusatzverluste*

Soweit keine andern Abmachungen getroffen werden, nimmt man an, dass die totalen Zusatzverluste (im Eisen, in den stromführenden Leitern und in den Bürsten) mit dem Quadrat des Laststromes variieren und dass ihr Wert bei maximalem Nennstrom beträgt:

1 % der Bezugsleistung für nichtkompensierte Maschinen,
0,5 % der Bezugsleistung für kompensierte Maschinen.

Für Maschinen mit konstanter Drehzahl ist die Bezugsleistung die durch die maximalen Werte der Nennspannung und des Nennstromes gegebene Nutzleistung.

Wird die Drehzahl von Motoren durch Änderung der Klemmenspannung eingestellt, so ist die Bezugsleistung für jede Drehzahl die Leistung an der Welle beim höchsten Nennstrom und bei der der betreffenden Drehzahl entsprechenden Spannung.

Für Motoren mit Drehzahländerung durch Feldschwächung ist die Bezugsleistung als Leistung an der Welle bei Nennspannung und maximalem Nennstrom definiert. Die angegebenen Werte der Zusatzverluste gelten für die niedrigste Drehzahl; bei höheren Drehzahlen sind sie mit den Faktoren der Tabelle V zu multiplizieren.

Faktoren zur Berechnung der Zusatzverluste bei höheren Drehzahlen

Tabelle V

Drehzahl bezogen auf niedrigste Drehzahl im Dauerbetrieb	Faktor
1,5	1,4
2	1,7
3	2,5
4	3,2

Für andere Drehzahlverhältnisse kann der Faktor aus den obigen Werten interpoliert werden.

Bemerkung:

Die Zusatzverluste können aus einem Rückarbeitsversuch ermittelt werden, indem von den gemessenen totalen Verlusten alle andern bekannten Verluste abgezogen werden.

12.4 Bestimmung des Wirkungsgrades von Gleichstrommaschinen mit Hilfe des Rückarbeitsverfahrens

12.4.1 *Genaue Methode*

Die für die Berechnung benötigten Daten werden nach der in Fig. 6 angegebenen Schaltung ermittelt. Die Verlustleistung wird dabei von zwei Stromquellen, nämlich dem Netz mit der Spannung U_N und der im Hauptstromkreis liegenden Spannungszusatzmaschine mit der Spannung U_z zugeführt. Die erste deckt ungefähr die Leerverluste, die zweite die Lastverluste im Prüfling und in der Lastmaschine. Diese Schaltung

erlaubt die Bestimmung der Verluste mit der grösstmöglichen Präzision, wenn folgende Richtlinien beachtet werden:

a) Gemäss Ziff. 9.1 soll die Messung erst erfolgen, nachdem der Prüfling seine Enderwärmung erreicht hat.

b) Beim Prüfling sind die Nenndaten, bzw. der gewünschte Belastungszustand einzustellen.

c) Die Fremderregung der Lastmaschine ist derart einzustellen, dass die Leerlaufspannungen von Prüfling und Lastmaschine angenähert gleich sind. Zu diesem Zwecke macht man $U_z = 0$ und stellt die Fremderregung der Lastmaschine so ein, dass der Prüfling und die Lastmaschine den Netzstrom I_N je zur Hälfte übernehmen.

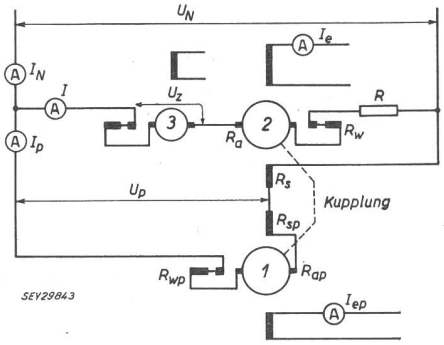


Fig. 6

Schaltung zur Bestimmung der Verluste von Gleichstrommaschinen mit Hilfe des Rückarbeitsverfahrens

1 Prüfling; *2* Lastmaschine; *3* Spannungszusatzmaschine

R	Stabilisierungswiderstand
U_N	Netzspannung
I_N	Netzstrom
U_z	Spannung der Spannungszusatzmaschine
U_p	Spannung an den Klemmen des Prüflings
I	Ankerstrom der Lastmaschine
I_p	Ankerstrom des Prüflings
I_e	Erregerstrom der Lastmaschine
I_{ep}	Erregerstrom des Prüflings
R_a	Gleichstromwiderstand der Ankerwicklung der Lastmaschine
R_{ap}	Gleichstromwiderstand der Ankerwicklung des Prüflings
R_w	Widerstand der Wendepol- und Kompensationswicklung der Lastmaschine
R_{wp}	Widerstand der Wendepol- und Kompensationswicklung des Prüflings
R_s	Widerstand der Reihenschluss-Erregerwicklung der Lastmaschine
R_{sp}	Widerstand der Reihenschluss-Erregerwicklung des Prüflings
U_{ep}	Erregerspannung des Prüflings einschliesslich Stellwiderstand (siehe Ziff. 12.2)
U_b	Spannungsabfall an den Bürsten für beide Polaritäten einer Maschine (siehe Ziff 12.3.2)
P_0	Leerverluste (siehe Ziff. 12.1) der Lastmaschine
P_{0p}	Leerverluste (siehe Ziff. 12.1) des Prüflings
P_k	Verluste im Stabilisierungswiderstand R, in den Verbindungskabeln und Schaltapparaten zwischen den Maschinen.

d) Die Reihenschlusserregerwicklung des Prüflings wird betriebsmässig geschaltet, diejenige der Lastmaschine muss im gleichen Sinne wie beim Prüfling wirken, d. h. beide Wicklungen müssen entweder feldschwächend oder beide feldverstärkend wirken.

e) Die Messung kann auch durchgeführt werden, wenn die Anschlüsse der Reihenschlusserregerwicklung der Lastmaschine nicht herausgeführt sind, sofern die Bedingung d) eingehalten wird. In der Formel (1) ist dann das Glied $I_p I R_s$ durch $I^2 R_s$ zu ersetzen.

f) Unter Umständen ist es notwendig, durch Einschalten des Widerstandes R für genügende Stabilität zu sorgen.

g) Die Verluste P_k im Stabilisierungswiderstand R und in den Verbindungskabeln und Schaltapparaten sind so klein wie möglich zu halten.

Die *totalen Verluste* des Prüflings berechnen sich zu:

$$P_{vp} = \frac{1}{2}\Big[U_p I_N + U_z I + 2\,U_{ep} I_{ep} + I_p^2 (R_{ap} + R_{wp} + R_{sp}) - I_p I R_s - I^2 (R_a + R_w) + P_{0p} - P_0 - P_k \pm U_b I_N\Big] \quad (1)$$

Das Vorzeichen vor dem letzten Glied ist positiv, wenn der Prüfling als Motor, und negativ, wenn er als Generator läuft.

Der *Wirkungsgrad* des Prüflings wird berechnet zu:

$$\eta_G = 1 - \frac{P_{vp}}{U_p I_p + P_{vp}}$$

wenn dieser als Generator läuft und zu (2)

$$\eta_M = 1 - \frac{P_{vp}}{U_p\, I_p + U_{ep}\, I_{ep}}$$

wenn er als Motor läuft.

12.4.2 *Vereinfachte Methode*

Einfachere Schaltungen bei weniger genauen Resultaten erhält man durch Weglassen der Spannungszusatzmaschine. Man wählt hiebei die Klemmenspannung des Prüflings gleich dessen innerer Spannung bei Nennbetrieb (siehe Ziff. 12.1.1) und beachtet die Richtlinien d) bis g) von Ziff. 12.4.1.

Es bestehen folgende Möglichkeiten zur Zuführung der Verluste der beiden Maschinen:

a) Durch ein Hilfsnetz (Fig. 6, wobei $U_z = 0$). Die Erregerströme werden so eingestellt, dass das Mittel der Ankerströme des Prüflings und der Lastmaschine gleich dem Nennstrom ist. Die totalen Verluste des Prüflings im Nennbetrieb sind:

$$P_{vp} \approx \frac{1}{2}\Big(U_N\, I_N + 2\; U_{ep}\, I_{ep} - P_k\Big) \quad (3)$$

b) Durch einen mit beiden Maschinen gekuppelten Hilfsmotor. Die Erregerströme werden so eingestellt, dass der Prüfling Nenn-Ankerstrom hat. Die totalen Verluste ergeben sich in diesem Fall zu:

$$P_{vp} \approx \frac{1}{2}\Big(P_H + 2\; U_{ep}\; I_{ep} - P_k\Big) \quad (4)$$

worin P_H die vom Hilfsmotor abgegebene Leistung ist.

In den Gleichungen (3) und (4) sind für U_{ep} und I_{ep} die Nennwerte einzusetzen.

Die Berechnung des Wirkungsgrades für Nennbetrieb erfolgt nach Gleichung (2) von Ziff. 12.4.1, wobei für U_p und I_p die Nennwerte einzusetzen sind.

13 Spannung und Spannungsänderung

13.1 Spannungsbereich

Generatoren müssen bei Nennleistung, Nenndrehzahl und Nennleistungsfaktor eine Spannung entwickeln können, die bis zu ± 5 % von der Nennspannung abweicht.

Motoren müssen bei Nennleistung und Nennfrequenz mit einer Spannung betrieben werden können, die bis zu ± 5 % von der Nennspannung abweicht.

Bemerkung:

An Orten, wo grössere Spannungsschwankungen auftreten, sind Motorentypen zu wählen, welche den diesen Verhältnissen entsprechenden Beanspruchungen standhalten.

Bei Betrieb mit diesen Grenzwerten der Spannung darf die Erwärmung die in Tabelle III angegebenen Grenzwerte um nicht mehr als 10 °C überschreiten. Garantien gelten nur bei Nenndaten.

13.2 Definitionen

13.2.1 *Luftspaltspannung*

(nur für Wechselstrommaschinen)

Die Luftspaltspannung ist die Spannung, die beim Nennbetrieb der Maschine durch den räumlich grundharmonischen Anteil des mitläufigen Luftspaltfeldes in der Ankerwicklung induziert wird.

13.2.2 *Potierspannung*

Die Potierspannung ist die nach dem in Fig. 7 wiedergegebenen Verfahren aus dem Vollastpunkt $\cos\varphi = 0$, übererregt, und den Leerlauf- und Kurzschlusskennlinien berechnete fiktive Ankerstreuspannung. Die Potierspannung ist im allgemeinen grösser als die physikalisch richtige Ankerstreuspannung.

13.2.3 *Spannungsänderung eines Synchrongenerators*

Die Spannungsänderung eines Synchrongenerators mit Eigen- oder Fremderregung ist die Differenz der Effektivwerte der Spannung, die bei Übergang von Nennbetrieb auf Leerlauf auftritt, wenn Drehzahl und Erregerstrom konstant blei-

ben. Die Spannungsänderung wird immer in Prozenten der Nennspannung angegeben:

$$\varepsilon = \frac{U_0 - U_n}{U_n} \cdot 100\,\%$$

worin bedeuten:
U_0 Leerlauf-Spannung
U_n Nennspannung

13.2.4 *Spannungsänderung eines Gleichstromgenerators*

Die Spannungsänderung eines Gleichstromgenerators ist der Unterschied zwischen der grössten (U_{max}) und der kleinsten (U_{min}) bei Nenndrehzahl im Bereich zwischen Vollast und Leerlauf auftretenden Spannung beim allmählichen Übergang von Nennstrom auf Leerlauf. Beim nebenschlusserregten Generator bleibt die Stellung des Stellwiderstandes während der Belastungsänderung unverändert, bei Fremd- und Eigenerregung wird der Erregerstrom konstant gehalten, entsprechend der Einstellung bei Nennspannung für Nennstrom. Die Spannungsänderung wird in Prozenten der Nennspannung angegeben:

$$\varepsilon = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max}} \cdot 100\,\%$$

13.3 Sinusform von Spannungskurven
(nur für Synchronmaschinen)

Synchronmaschinen sollen bei Leerlauf und bei Belastung auf einen induktionsfreien Widerstand eine praktisch sinusförmige Spannung erzeugen (Ziff. **2.5.3**).

13.4 Bestimmung der Potierspannung
(nur für Synchronmaschinen)

Bemerkung:

Die in Ziff. **13.5.2** beschriebene Methode zur Bestimmung der Spannungsänderung verwendet die Potierspannung U_x, die nach der Methode Ziff. **13.4.1** ermittelt wird. Ist die direkte Bestimmung der Potierspannung nicht möglich, so kann sie nach den Näherungsmethoden nach Ziff. **13.4.2** oder **13.4.3** bestimmt werden. Andere, hier nicht angeführte Methoden zur Bestimmung der Spannungsänderung arbeiten nicht mit der Potierspannung. Der nach Ziff. **13.4.1**, **13.4.2** oder **13.4.3** bestimmte Wert der Ankerstreuspannung darf daher nur bei der in Ziff. **13.5.2** beschriebenen Methode zur Bestimmung der Spannungsänderung verwendet werden.

13.4.1 *Nach der Methode von Fischer-Hinnen mit dem Potier-Dreieck*

Durch Versuch ist die Leerlaufkennlinie, der Erregerstrom im allpoligen Kurzschluss bei Nennstrom und der Erregerstrom für Nennspannung, Nennstrom und $\cos\varphi = 0$ zu bestimmen. Die Durchführung der Konstruktion ist in Fig. 7 angegeben.

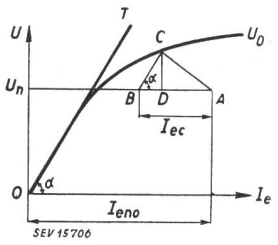


Fig. 7
Bestimmung der Portierspannung der Synchronmaschine

U Klemmenspannung; U_o Leerlaufkennlinie; I_e Erregerstrom; I_{eno} Erregerstrom bei U_n, I_n und $\cos\varphi = 0$; I_{ec} Erregerstrom im Kurzschluss bei Nennstrom; $BC \parallel OT$; $CD = U_x$ Potierspannung; $\triangle ACD$ Potier-Dreieck

13.4.2 *Aus der Reaktanzmessung bei ausgebautem Rotor*

Man misst die Reaktanz der Statorwicklung bei ausgebautem Rotor, mit den Verschalungen. Die Ankerstreureaktanz ist bei Maschinen mit ausgeprägten Polen gleich dem 1,0fachen, bei Maschinen mit Volltrommelrotoren gleich dem 0,6fachen Wert[4]) dieser Reaktanz. Die Ankerstreuspannung ist das Produkt aus Ankerstreureaktanz und Nennstrom.

13.4.3 *Aus der Reaktanzmessung bei stillstehendem Rotor*
(nur für Mehrphasen-Synchronmaschinen)

Bei Maschinen mit massiven Volltrommelrotoren darf die Ankerstreureaktanz gleich der Reaktanz gesetzt werden, die bei stillstehendem Rotor und kurzgeschlossener Erregerwicklung gemessen wird. Die Ankerstreuspannung wird dem Produkt aus Ankerstreureaktanz und Nennstrom gleichgesetzt. Diese Messung ist bei reduziertem Strom durchzuführen, damit sich die Dämpferwicklung nicht eventuell zu stark erwärmt.

13.5 Bestimmung des Erregerstromes und der Spannungsänderung
(nur für Synchronmaschinen)

13.5.1 *Direkte Methode*

Der Erregerstrom bei Nennbetrieb, der für die Bestimmung der Erregungsverluste nach Ziff. **9.5** benötigt wird, wird direkt gemessen.

Für die Bestimmung der Spannungsänderung wird die Maschine auf Nennbetrieb einreguliert und hierauf bei unveränderter Drehzahl entlastet. Die Differenz der dabei sich einstellenden Leerlaufspannung und der Nennspannung ist die Spannungsänderung.

13.5.2 *Indirekte Methode*

Man ermittelt zunächst die Luftspaltspannung U_l, indem man die nach Ziff. **13.4** bestimmte Potierspannung U_x vektoriell von der Klemmenspannung U_n subtrahiert (Fig. 8). Weiter wird der zugehörige Erregerstrom bestimmt, von dem für die weitere Konstruktion nur der über die Luftspaltgerade, d. h. die Anfangstangente an die Leerlaufkennlinie, hinausgehende Teil ΔI_e benützt wird. Zur Nennspannung U_n ermittelt man ferner mit Hilfe der Luftspaltgeraden den Erregerstrom des Luftspaltanteils $I_{e\delta}$. Hierzu wird der Erregerstrom I_{ec} bei Stator-Nennstrom im Kurzschluss vektoriell addiert (parallel zum Stator-Nennstrom I_n

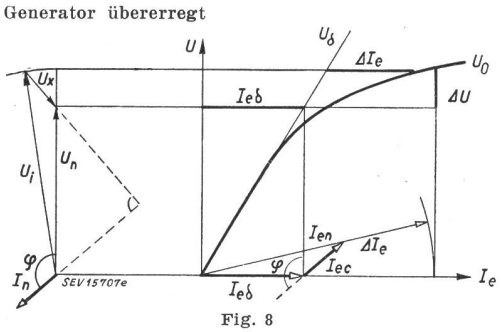


Fig. 8
Bestimmung der Spannungsänderung und des Erregerstromes der Synchronmaschine

$U\delta$ Luftspaltgerade; U_0 Leerlaufkennlinie; U_x Potierspannung; I_{ec} Erregerstrom bei Stator-Nennstrom im Kurzschluss; I_{en} Erregerstrom bei Nennlast

im entgegengesetzten Sinn). Im weitern wird in der Richtung der Resultierenden die Grösse ΔI_e angefügt. Auf diese Art erhält man den Erregerstrom I_{en} für den Nennbetrieb (vgl. Ziff. **9.5.2**) und ermittelt weiter mit Hilfe der Leerlaufkennlinie die Spannungsänderung ΔU.

14 Kurzschluss
(nur für Synchronmaschinen)

14.1 Allgemeines

Die folgenden Bestimmungen dienen nur zur Kontrolle der mechanischen und elektrischen Festigkeit ohne Rücksicht auf die Erwärmung.

14.2 Definitionen[5])

14.2.1 *Stosskurzschlußstrom*

Der Stosskurzschlußstrom (in Fig. 9 durch *a* dargestellt) ist der höchste Augenblickswert des Stromes, der auftritt, wenn bei Nennbetrieb im ungünstigsten Schaltmoment alle Statorklemmen, mit Ausnahme einer allenfalls vorhandenen Sternpunktklemme, plötzlich kurz geschlossen werden.

14.2.2 *Dauerkurzschlußstrom*

Der Dauerkurzschlußstrom (in der Fig. 9 stellt *b* den Scheitelwert dar) ist der Strom (Effektivwert), der sich bei der dem Nennbetrieb entsprechenden Drehzahl und Er-

[4]) Diese Werte sind Mittelwerte aus einer Anzahl gemessener Maschinen.

[5]) Methoden zur Messung der Konstanten der Synchronmaschinen sind bei der CEI in Vorbereitung.

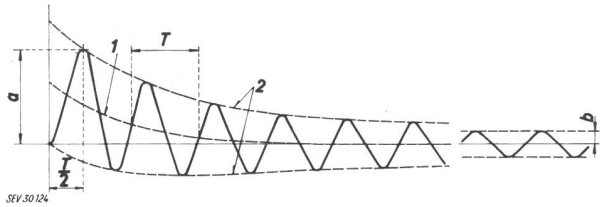


Fig. 9
Oszillogramm zur Ermittlung des Stoss- und des Dauerkurzschlußstromes

a Stosskurzschlußstrom; *b* Dauerkurzschlußstrom; *T* Periode; *1* abklingender Gleichstromanteil; *2* Hüllkurven des abklingenden Wechselstromanteiles (Der Wechselstromanteil setzt sich zusammen aus dem rasch abklingenden subtransienten und dem langsamer abklingenden transienten Anteil)

regung bei Kurzschluss aller Statorklemmen, mit Ausnahme einer allenfalls vorhandenen Sternpunktklemme, dauernd einstellt.

14.3 Kurzschlussprobe

Die Kurzschlussprobe wird nur durchgeführt, wenn sie in der Bestellung ausdrücklich verlangt wird.

Synchronmaschinen müssen eine Festigkeitsprobe auf plötzlichen Kurzschluss aushalten. Diese Probe wird ausgehend vom Leerlauf bei Nenndrehzahl mit auf 1,05fache Nennspannung erregter Maschine durchgeführt.

An Mehrphasen-Synchronmaschinen wird diese Kurzschlussprobe nur einmal ausgeführt.

An Einphasen-Synchronmaschinen ist diese Probe zu wiederholen bis sie im ungünstigsten Schaltmoment erfolgt; im Maximum wird sie aber nur dreimal ausgeführt.

Der Kurzschluss wird zwischen allen Stator-Klemmen, mit Ausnahme einer allenfalls vorhandenen Sternpunktklemme, plötzlich und gleichzeitig hergestellt. Er soll solange dauern bis der Strom den Beharrungszustand erreicht hat. Allfällig eingebaute Schutz- und Regulier-Vorrichtungen, z. B. Überstromrelais, sind dabei ausser Betrieb zu setzen.

Die Kurzschlussprobe gilt als bestanden, wenn sich keine schädlichen Formveränderungen zeigen und nachträglich die Spannungsproben ausgehalten werden. Ist nachzuweisen, dass der Stosskurzschlußstrom (Ziff. **14.2.1**) einen bestimmten Garantiewert nicht übersteigt, so gilt der Nachweis als erbracht, sofern dieser Wert beim plötzlichen Kurzschluss im Leerlauf bei 1,05facher Nennspannung nicht überschritten wird.

15 Überlastung

15.1 Allgemeines

Bemerkung:

Da für die Überlastbarkeit über den Nennbetrieb hinaus hinsichtlich Erwärmung keine Garantien gegeben werden, behandeln die folgenden Bestimmungen nur die mechanische und elektrische Überlastbarkeit.

Maschinen für Dauerbetrieb müssen in betriebswarmem Zustande während 2 Minuten den 1,5fachen Nennstrom ohne Beschädigung oder bleibende Formveränderung aushalten. Diese Prüfung ist bei Motoren bei Nennspannung, bei Generatoren so nahe als möglich der Nennspannung durchzuführen.

Gleichstrommotoren müssen bei Nennspannung während 15 Sekunden das 1,5fache des Nennmomentes abgeben können.

Mehrphasen-Synchronmotoren mit ausgeprägten Polen müssen bei Nennspannung, Nennfrequenz und Nennerregung mindestens ein Moment vom 1,5fachen Wert des Nenndrehmomentes, Synchron-Induktionsmotoren ein Moment vom 1,35fachen des Nennmomentes während 15 Sekunden entwickeln, ohne ausser Tritt zu fallen.

Mehrphasen-Induktionsmotoren müssen bei den Betriebsarten nach Ziff. **4.2**, **4.4** und **4.5** das 1,6fache, bei der Betriebsart nach Ziff. **4.3** das 2fache Nenndrehmoment während 15 Sekunden entwickeln können, ohne bei stetiger Zunahme des Drehmomentes zum Stillstand zu kommen oder die Drehzahl plötzlich zu verringern, wobei Spannung und Frequenz auf ihren Nennwerten gehalten werden. Für Induktionsmotoren, für welche die Antriebsbedingungen festliegen, für Induktionsmotoren mit Rotor besonderer Bauart (z. B. Doppelkäfig-, Wirbelstrom-Rotor) mit besonderen Anlauf-Eigenschaften ist jedoch das Kippmoment besonders zu vereinbaren.

Das Kippmoment der Einphasen-Induktionsmotoren ist zwischen Hersteller und Käufer zu vereinbaren.

15.2 Das Kippmoment von Induktionsmaschinen

Das Kippmoment von Induktionsmaschinen mit mässiger Stromverdrängung kann aus dem Kreisdiagramm (siehe Ziff. **11.2.3**) bestimmt werden.

Man schätzt vorerst den Kippstrom $I_{M\,max}$ ab und macht den Kurzschlussversuch nach Ziff. **11.2.3**, jedoch mit einer solchen Spannung, dass der Kurzschlußstrom I_c den geschätzten Kippstrom $I_{M\,max}$ erreicht. Dann konstruiert man nach Ziff. **11.2.3** das Kreisdiagramm und ermittelt den Kippunkt $A_{M\,max}$ indem man aus dem Mittelpunkt M des Kreises einen Strahl unter dem Winkel γ zieht (Fig. 10).

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{I_d\,R_1}{U_Y}$$

wo I_d den Durchmesser des Kreises in Ampère bedeutet.

Weicht der so ermittelte Kippstrom $I_{M\,max}$ wesentlich vom ursprünglich angenommenen Wert $I_{M\,max}$ ab, so wiederholt man das ganze Verfahren, indem man von dem nun genauer bekannten Wert $I_{M\,max}$ ausgeht.

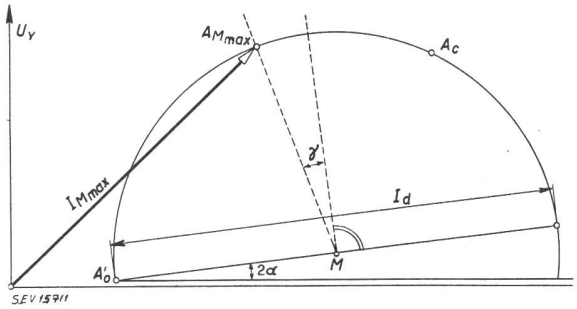


Fig. 10
Kreisdiagramm zur Bestimmung des Kippmomentes der Induktionsmaschine

$I_{M\,max}$ Kippstrom; I_d Durchmesser des Kreises in Ampère

Kann der Kurzschlussversuch bis zu dem beim Kippmoment zu erwartenden Strom $I_{M\,max}$ nicht durchgeführt werden, so extrapoliert man die möglichst bis hinter das Knie der Kurve gemessene Kurzschlusscharakteristik durch die Endtangente (Fig. 11) und greift für den Kurzschlußstrom $I_{cr} = I_{M\,max}$ die Spannung U_{cr} ab. Der auf Nennspannung umgerechnete Strom I_c ist dann

$$I_c = I_{cr}\,\frac{U_n}{U_{cr}}$$

Die diesem Strome I_c entsprechende, aufgenommene Leistung P_c berechnet man aus der Formel

$$P_c = P_{cA}\left(\frac{I_c}{I_{cA}}\right)^2$$

P_{cA} ist die aufgenommene Leistung bei dem grössten noch gemessenen Kurzschlußstrom I_{cA}. Aus P_c, I_c und der Nennspannung U_n berechnet man den Leistungsfaktor $\cos\varphi$ und fährt dann in der Konstruktion des Kreisdiagrammes nach Ziff. **11.2.3** fort.

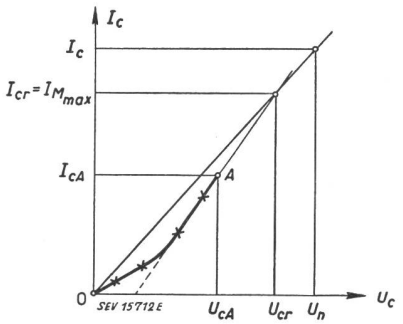


Fig. 11
Kurzschlußcharakteristik zur Bestimmung des Kippstromes $I_{M\,max}$ der Induktionsmaschine

Man bestimmt aus dem Diagramm Fig. 10 die dem Kippunkt $A_{M\,max}$ entsprechende aufgenommene Leistung, vermindert sie um die nach Ziff. **11.2** berechneten Stromwärmeverluste und Zusatzverluste und um die nach Ziff. **11.1** bestimmten Leerverluste und erhält so die beim Kippen auf den Rotor übertragene Leistung $P_{12\,M\,max}$.

Das Kippmoment ist dann

$$M_{max} = \frac{P_{12\,M\,max}}{\omega_{syn}}$$

oder, auf kg*m umgerechnet:

$$M_{max} = P_{12\,M\,max} \frac{973}{n_{syn}}$$

$P_{12\,M\,max}$ ist die beim Kippen auf den Rotor übertragene Leistung in kW

M_{max} ist das Kippmoment in kg*m

n_{syn} ist die synchrone Drehzahl in U./min

16 Anlauf

(nur für Induktionsmaschinen)

16.1 Definitionen

Anlaufstrom ist der stationäre Wert des Stromes im primären Teil bei stillstehendem oder langsam laufendem Rotor bei Nennspannung und Nennfrequenz und zwar der grösste Wert bei allen Rotorstellungen.

Rotorstillstandsspannung bei mehrphasigen Schleifringmotoren ist die zwischen zwei Schleifringen im Stillstand bei Nennspannung und Nennfrequenz auftretende Spannung und zwar der Mittelwert bei allen Rotorstellungen.

Bemerkung:

Synchronmotoren mit asynchronem Anlauf gelten für die Anlaufzeit als Induktionsmotoren.

16.2 Durchzugsmoment

Induktionsmotoren müssen bei Nennspannung und Nennfrequenz mit dem zugehörigen Anlasser in jeder Läuferstellung beim Anzuge und während des ganzen Anlaufes ein Drehmoment (Durchzugsmoment) entwickeln, das mindestens 0,3mal Nenndrehmoment ist.

16.3 Bestimmung der Anlaufcharakteristiken

16.3.1 *Messung bei reduzierter Spannung*

Kann der Anlauf nur bei reduzierter Spannung gemessen werden, so extrapoliert man den Anlaufstrom mittels der Endtangente der Kurzschlusscharakteristik auf volle Spannung (Fig. 12). Doch soll die Kurzschlusscharakteristik

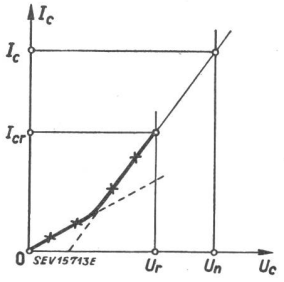


Fig. 12

Kurzschlußcharakteristik zur Bestimmung der Anlaufcharakteristiken der Induktionsmaschine

I_c Kurzschlußstrom bei Nennspannung U_n;
I_{cr} Kurzschlußstrom bei reduzierter Spannung U_r

so hoch als möglich, d. h. bis über das Knie der Kurve gemessen werden. Die bei verminderter Spannung U_r gemessenen Drehmomente (Anzugsmoment, Durchzugsmoment, Kippmoment) können auf die volle Spannung U quadratisch umgerechnet werden, wobei der Einfluss des Reibungs- und Ventilations-Drehmomentes M_f zu berücksichtigen ist.

$$M = (M_r + M_f)\left(\frac{U}{U_r}\right)^2 - M_f$$

M ist das Drehmoment bei voller Spannung U

M_r ist das Drehmoment bei verminderter Spannung U_r

M_f ist das Reibungs- und Ventilationsmoment bei der Messung.

Die Wirkung des Reibungsmomentes M_f beim Anzug kann dadurch ausgeschieden werden, dass man das Anzugsmoment bei ganz langsamem Drehen des Rotors mit und gegen das Drehfeld misst und den Mittelwert beider Angaben nimmt. In diesem Falle wird in der Gleichung für das Drehmoment $M_f = 0$ gesetzt. Beim Lauf der Maschine wird das Reibungs- und Ventilationsmoment M_f nach einem der in Ziff. 11.1 angegebenen Verfahren ermittelt. Der wirkliche Wert der Drehmomente bei voller Spannung liegt über dem Umrechnungswert nach der Gleichung für M und kann genauer ermittelt werden, indem man die gemessenen Werte der Drehmomente M_r über der veränderlichen Spannung U_r auf doppellogarithmisches Papier oder über dem Quadrat der Spannung U_r aufträgt und mittels der Endtangente auf die volle Spannung extrapoliert.

16.3.2 *Hochlaufversuch*

Das Anzugsmoment, Durchzugsmoment und Kippmoment und die ganze Drehmomentkurve kann man auch aus dem Hochlaufversuch ermitteln. Man misst die Drehzahlkurve des Motors mittels einer Tachometerdynamo und eines Oszillographen; gleichzeitig misst man die Spannung und den Anlaufstrom. Das bei der Drehzahl n wirkende gesamte Drehmoment ist:

$$M = J\frac{d\omega}{dt} + M_e$$

oder, auf die bei der Messung verwendeten Einheiten umgerechnet:

$$M = \frac{GD^2}{375}\frac{dn}{dt} + M_e$$

M ist das Drehmoment in kg*m

GD^2 ist das Schwungmoment des Motors und der angekuppelten Maschinen und Schwungmassen in kg*m²

n ist die Drehzahl pro min

t ist die Zeit in s

M_e ist das äussere bremsende Drehmoment (Reibungsmoment, Ventilationsmoment und andere Verlustmomente der angekuppelten leerlaufenden Maschinen und Schwungmassen) bei der Drehzahl n.

Das bremsende Moment der angekuppelten, leerlaufenden Maschinen und Schwungmassen M_e ermittelt man nach einer in Ziff 10.4 angegebenen Methode, am besten nach der Auslaufmethode. Das Schwungmoment GD^2 ermittelt man nach Ziff. 10.4.2.4.

Erläuterung: Beim Hochlaufversuch entstehen innerhalb der Maschine Ausgleichsvorgänge und es ist darauf zu achten, dass sie das Messergebnis nicht fälschen. Der Hochlaufversuch darf daher nie zu rasch erfolgen (nicht rascher als etwa in 2 s); es sind also hinreichend grosse Schwungmassen zu kuppeln oder der Hochlaufversuch muss bei verminderter Spannung gemacht werden. Wenn möglich sollte der geprüfte Motor erst dann hochlaufen, nachdem der Einschaltstrom abgeklungen ist. Dies kann man z. B. dadurch erreichen, dass man den Motor kurzzeitig in verkehrter Drehrichtung laufen lässt und, während er noch ausläuft, in richtiger Drehrichtung einschaltet, sodass der Einschaltstrom abgeklungen ist, bevor die Drehzahl durch Null geht. Die Kupplungen, mit denen die Schwungmassen und die Tachometerdynamo angekuppelt sind, sollen möglichst starr sein.

17 Mechanische Versuche und Vorschriften

17.1 Drehsinn

Der Drehsinn einer Maschine, Rechtslauf im Uhrzeigersinn, Linkslauf entgegen dem Uhrzeigersinn, wird bestimmt:

17.1.1

Von der Antriebsseite aus.

17.1.2

Wenn für eine Maschine der Begriff «Antriebsseite» nicht eindeutig ist:

a) von der dem Kommutator oder den Schleifringen entgegengesetzten Seite aus, wenn ein Kommutator oder Schleifringe nur auf einer Maschinenseite vorhanden sind.

b) von der Schleifringseite aus, wenn Kommutator und Schleifringe gleichzeitig vorhanden sind, und auf verschiedenen Maschinenseiten liegen.

c) nach besonderen Vereinbarungen, wenn die obigen Bestimmungen nicht eindeutig sind.

17.2 Bezeichnung der Drehrichtung

Die Drehrichtung ist durch einen Pfeil auf dem Gehäuse zu bezeichnen.

17.2.1

Bei Maschinen, die nur für eine Drehrichtung bestimmt sind und bei denen eine Änderung der Drehrichtung nur durch konstruktive Änderungen oder Änderung der inneren Maschinenschaltung möglich ist, ist dem Pfeil ein «nur» beizusetzen, also:

für Rechtslauf nur

für Linkslauf nur

17.2.2

Wenn Maschinen beliebig für beide Drehrichtungen verwendet werden sollen, so ist dies besonders zu vereinbaren.

Maschinen für beide Drehrichtungen sind durch einen Doppelpfeil auf dem Gehäuse zu kennzeichnen.

17.3 Drehsinn und Klemmfolge

(bei Drehstrommaschinen)

Bei Drehstrommaschinen muss die Klemmenfolge $U\,V\,W$ bei dem auf dem Gehäuse bezeichneten Drehsinn der zeitlichen Phasenfolge entsprechen.

Bei grossen Drehstrommaschinen für beide Drehrichtungen sollen der Zusammenhang von Drehsinn, zeitlicher Phasenfolge und alphabetischer Klemmenfolge, sowie die Bürstenstellungen gekennzeichnet werden, z. B. $\overset{\frown}{U\,V\,W}$.

Diese Bestimmungen entbinden nicht von der Prüfung der Phasenfolge vor der Inbetriebsetzung.

17.4 Schleuderprüfung

Die Schleuderprüfung wird nur dann durchgeführt, wenn sie in der Bestellung ausdrücklich verlangt wird. Bei der Schleuderprüfung sind die in Tabelle VI angegebenen Drehzahlen während 2 min aufrecht zu erhalten. Die Schleuderprüfung gilt als bestanden, wenn sich keine schädlichen Formänderungen zeigen und die Spannungsprüfungen nach Ziff. **8** nachträglich ausgehalten werden.

Bei Dampfturbinen ist ein Dampfschnellschlussventil anzuwenden, das bei Überschreitung der Nenndrehzahl um 10 % anspricht.

Sind auf dem Leistungsschild höhere betriebsmässig zulässige Drehzahlen vermerkt, dann sind zur Bestimmung der Schleuderdrehzahl diese Höchstdrehzahlen mit den in der Kolonne «Schleuderdrehzahl» angegebenen Faktoren zu vervielfachen.

Schleuderdrehzahlen Tabelle VI

	Maschinengattung	Schleuderdrehzahl
1	Generatoren für Wasserturbinenantrieb	Durchgangsdrehzahl der Turbine
2	Generatoren für andere Antriebsarten und Blindleistungsmaschinen	1,2 × Nenndrehzahl
3	Motoren für gleichbleibende Drehzahl	1,2 × Leerlaufdrehzahl
4	Motoren mit Drehzahlstufen	1,2 × höchste Leerlaufdrehzahl
5	Motoren mit Drehzahlregelung	1,2 × höchste Leerlaufdrehzahl
6	Motoren mit Reihenschlussverhalten	1,2 × die auf dem Schild gestempelte Höchstdrehzahl, mindestens aber 1,5 × Nenndrehzahl

18 Kommutation

18.1 Kommutation bei Gleichstrommaschinen

Kommutatoren und Bürsten müssen bei fester Bürstenstellung im Betrieb bei jeder Belastung zwischen Leerlauf und Nennleistung und beim Überlastversuch nach Ziff. **15.1** in betriebsfähigem Zustand bleiben, ohne aussergewöhnliche Wartungsarbeiten. Es wird dabei vorausgesetzt, dass die Bürsten gut eingelaufen sind und die Maschine ruhig läuft.

Als Richtlinien für die maximal zulässige Unrundheit des Kommutators können Werte von 50 µm total oder 1 µm zwischen zwei benachbarten Lamellen angenommen werden. Die Messung wird nach dem Schleuderversuch bei warmem Kommutator auf mindestens zwei Bahnen durchgeführt.

Das Kriterium für eine einwandfreie Kommutation ist nicht die Abwesenheit sichtbarer Funken, sondern die Lebensdauer von Bürsten und Kommutatoren.

Es ist nicht einfach, die Kommutation einer Gleichstrommaschine im Prüffeld zu beurteilen. Wenn jedoch nach mehreren Stunden Laufes bei maximaler Nenndrehzahl und maximaler Nennspannung beim grössten dabei zulässigen Dauerstrom höchstens feine Funken unter den Bürsten vorhanden sind und der Kommutator keine angebrannten Lamellen aufweist, so darf ein befriedigendes Verhalten im Betrieb erwartet werden, sofern am Aufstellungsort keine aussergewöhnlichen atmosphärischen Verhältnisse (extreme Feuchtigkeit, chemische Dämpfe) bestehen.

19 Klemmen

19.1 Anordnung der Klemmen in einer Ebene parallel zur Achsrichtung

(wird für kleine Maschinen verwendet)

Die räumliche Reihenfolge der Klemmen *U V W* soll, auf die Klemmen gesehen, so sein, dass von links nach rechts die alphabetische Reihenfolge eingehalten ist.

19.2 Anordnung der Klemmen in einer Ebene senkrecht zur Achsrichtung

(wird für grosse Maschinen verwendet)

Die räumliche Reihenfolge der Klemmen *U V W* soll der Drehrichtung des Rotors entsprechen. Beim Lauf der Maschine passiert also ein am Rotorumfang gedachter Punkt nacheinander die Klemmen *U V W*, desgleichen bei offen herausgeführtem Nullpunkt nacheinander die Klemmen *X Y Z*.

19.3 Ausnahmefälle

Lassen sich wegen konstruktiven Schwierigkeiten die Ableitungen nicht in der verlangten Reihenfolge aus der Maschine herausführen, so werden die Klemmen ohne Rücksicht auf die räumliche Reihenfolge nach der zeitlichen Phasenfolge bezeichnet.

In Mass- und Schaltbildern ist auf die Abweichung von der normalen Klemmenanordnung aufmerksam zu machen.

19.4 Erdungsklemme

An den Maschinen, wenn möglich am Gehäuse, ist ein Erdungsanschluss vorzusehen, der ausreichend bemessen, als Erdungsanschluss, d. h. gelb, gekennzeichnet und leicht zugänglich sein muss.

Wellen brauchen nicht besonders geerdet zu werden, solange mindestens *ein* Lager geerdet ist.

20 Toleranzen und Garantien

20.1 Definition

Toleranz ist die höchstzulässige Abweichung des festgestellten Wertes von dem nach den Bestimmungen dieser Regeln garantierten Werte. Sie soll den unvermeidlichen Ungleichmässigkeiten in der Beschaffenheit der Rohstoffe, Ungenauigkeiten in der Fabrikation und Messfehlern Rechnung tragen.

20.2 Anwendung

Garantien brauchen nicht auf alle in Tabelle VII enthaltenen Grössen gegeben zu werden. Werden Garantien gegeben, so muss dies besonders vereinbart werden, und die Toleranzen müssen Tabelle VII entsprechen.

Toleranzen Tabelle VII

Nr.	Gegenstand	Toleranz auf den Garantiewert
1	Wirkungsgrad nach a) Ziff. **9.3, 9.4, 9.5.** b) Ziff. **9.2**	 — 10 % von $(1-\eta)$ — 15 % von $(1-\eta)$ Minimum 0,007
2	Gesamtverluste	+ 10 %
3	Leistungsfaktor $\cos\varphi$	± 1/6 von $(1-\cos\varphi)$ Minimum 0,02 Maximum 0,07
4	Spannungsänderung von Synchrongeneratoren	± 20 %
5	Stosskurzschlußstrom unter bestimmten Bedingungen	± 30 %
6	Dauerkurzschlußstrom bei bestimmter Erregung	± 15 %
7	Kippmoment von Induktionsmotoren	— 10 % (Das Kippmoment darf jedoch nicht kleiner sein als die in Ziff. **15.1** vorgeschriebenen Mindestwerte)
8	Anzugsmoment von Induktionsmotoren	— 10 %
9	Schlupf von Induktionsmotoren	± 20 %
10	Anlaufstrom von Kurzschlussanker- und Synchronmotoren	+ 20 %

Nr.	Gegenstand	Toleranz auf den Garantiewert
11	a) Drehzahl von Nebenschluss-Gleichstrommotoren (bei Nennleistung und Betriebstemperatur) b) Drehzahl von Reihenschluss-Gleichstrommotoren (bei Nennleistung und bei Betriebstemperatur)	kW pro 1000 U./m: Über ⅔, aber unter 2,5 [1]): ± 10 % Von 2,5...10: ± 7,5 % 10 und mehr: ± 5 % Über ⅔, aber unter 2,5 [1]): ± 15 % 2,5...10: ± 10 % 10 und mehr: ± 7,5 %
12	Spannungsänderung von Gleichstromgeneratoren mit Nebenschluss- oder Fremderregung	± 20 %
13	Schwungmoment	± 10 %
14	Spannungsänderung von Gleichstromgeneratoren mit Kompounderregung	± 20 % Minimum 2 % der Nennspannung. (Diese Toleranz gilt für die Maximalabweichung der bei irgendeiner Belastung gemessenen Spannung von der Geraden, welche die Punkte der garantierten Spannung bei Leerlauf und bei Nennleistung verbindet.)
15	Drehzahländerung (von Leerlauf bis Nennleistung) von Gleichstrom-Nebenschluss- und Kompound-Motoren	± 20 % Minimum 0,2 % der Nenndrehzahl
16	Verluste in gemeinsamen Lagern (siehe Ziff. **9.1 c**)	+ 20 %

[1]) Nicht anwendbar für Motoren mit einer Nennleistung unter 1 kW.

21 Ursprungszeichen und Schilder

21.1 Ursprungszeichen

Jede Maschine muss den Namen des Herstellers oder dessen Firmenzeichen tragen.

Wird die Wicklung der Maschine von einem anderen als ihrem Hersteller geändert (teilweise oder vollständige Umwicklung, Umschaltung oder Ersatz), so muss die ändernde Firma *neben* dem Ursprungsschild ein weiteres Schild anbringen, das den Namen der Firma, die neuen Angaben der Maschine und die Jahreszahl der Änderung enthält.

21.2 Leistungsschild

Jede Maschine muss ein Leistungsschild tragen. Dieses soll so befestigt werden, dass es auch im Betriebe bequem gelesen werden kann.

Auf dem Leistungsschild sind deutlich und haltbar folgende Angaben entsprechend den Nennwerten anzubringen:

1. Art der Maschine
2. Hersteller oder Lieferant
3. Typenbezeichnung
4. Fabrikationsnummer
5. Nennleistung
6. Betriebsart
7. Nenndrehzahl oder Nenn-Drehzahlbereich
8. Nennspannung, bei Induktionsmaschinen mit gewickeltem Rotor auch Nenn-Rotorstillstandspannung
9. Nennstrom und Stromart (~, —), bei Induktionsmaschinen mit gewickeltem Rotor auch Nenn-Rotorstrom
10. Nennleistungsfaktor
11. Bei Wechselstrommaschinen Schaltungsart der Wicklungen
12. Nennerregerspannung
13. Erregerstrom für Nennbetrieb
14. Nennfrequenz
15. Berücksichtigte Regeln (SEV)
16. Wärmebeständigkeitsklasse oder zulässige Grenzerwärmung der Isolierstoffe, gegebenenfalls für Stator und Rotor getrennt
17. Evtl. Schleuderdrehzahl
18. Evtl. Kühlmittel und Kühlmitteltemperatur (siehe Ziff. **7.5** und **7.11**)
19. Bei wasserstoffgekühlten Maschinen Wasserstoffdruck bei Nennleistung

Bemerkungen

Zu 1: Angegeben wird die Arbeitsart und die Anzahl Phasen der Maschine.

Zu 6: Fehlt hier eine Angabe, so wird angenommen, die Maschine sei für Dauerbetrieb bestimmt.

Zu 7: Bei Motoren mit Seriecharakteristik und bei solchen Motoren, die betriebsmässig auf höhere Drehzahlen als die Nenndrehzahl angetrieben werden können (z. B. Hebezeugmotoren), ist ausser der Nenndrehzahl die höchstzulässige Drehzahl anzugeben.

Zu 8 und 11: Bei Drehstrommotoren mit mehr als einer Nennspannung ist für jede Nennspannung die zugehörige Schaltung anzugeben.

Zu 9: Stromangaben können abgerundet werden. Angaben über den Strom von Motoren und Induktionsgeneratoren sind als angenähert zu betrachten. Die Abrundung kann betragen:

bei kleinen Motoren	ca. 4 %
bei grossen Maschinen	ca. 2 %

Zu 10: Leistungsfaktorangaben von Induktionsmaschinen sind als angenähert zu betrachten.

Zu 11: Die Schaltungsart wird mit den Symbolen nach Publ. 9101 des SEV, Graphische Symbole für Schaltungsarten, angegeben. Bei Käfigankern wird kein Vermerk gemacht.

21.3 Mehrfache Stempelungen

Bei Maschinen, die für zwei oder mehrere Nennbetriebe bestimmt sind, sind für jeden Nennbetrieb entsprechende Leistungs-, Strom- usw. Angaben zu machen, nötigenfalls auf mehreren Schildern.

Wenn eine Maschine in einem Spannungsbereich arbeitet, der den in Ziff. **13.1** festgesetzten Bereich überschreitet, so sind die Grenzspannungen und die zu ihnen gehörenden Angaben zu vermerken.

Bei Motoren für mehrere Drehzahlen sind die Grenzdrehzahlen und die zu ihnen gehörenden Angaben zu vermerken.

Herausgeber:

Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.
Telephon (051) 34 12 12.

Redaktion:

Sekretariat des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.
Telephon (051) 34 12 12.

«Seiten des VSE»: Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Bahnhofplatz 3, Zürich 1.
Telephon (051) 27 51 91.

Redaktoren:

Chefredaktor: **H. Marti**, Ingenieur, Sekretär des SEV.
Redaktor: **E. Schiessl**, Ingenieur des Sekretariates

Inseratenannahme:

Administration des Bulletins SEV, Postfach Zürich 1.
Telephon (051) 23 77 44.

Erscheinungsweise:

14täglich in einer deutschen und in einer französischen Ausgabe
Am Anfang des Jahres wird ein Jahresheft herausgegeben.

Bezugsbedingungen:

Für jedes Mitglied des SEV 1 Ex. gratis. Abonnemente im Inland: pro Jahr Fr. 60.–, im Ausland: pro Jahr Fr. 70.–. Einzelnummern im Inland: Fr. 5.–, im Ausland: Fr. 6.–.

Nachdruck:

Nur mit Zustimmung der Redaktion.

Nicht verlangte Manuskripte werden nicht zurückgesandt.