

	DIN IEC 60034-24 (VDE 0530-240)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 29.160.01

Einsprüche bis 2008-08-31

Entwurf

Drehende elektrische Maschinen –**Teil 24: Erkennung und Diagnose von möglichen Schäden an den Aktivteilen drehender elektrischer Maschinen und von Lagerströmen –****Anwendungsleitfaden****(IEC 2/1498/CD:2008)**

Rotating electrical machines –

Part 24: Detection and diagnosis of potential failures at the active parts of rotating electrical machines and of bearing currents –

Application guide

(IEC 2/1498/CD:2008)

Machines électriques tournantes –

Partie 24: Détection et diagnostic des défaillances potentielles des parties actives des machines électriques tournantes et des courants de palier –

Guide d'application

(CEI 2/1498/CD:2008)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-06-16 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an **dke@vde.com** in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter **www.dke.de/stellungnahme** abgerufen werden
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 26 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 2/1498/CD:2008 „Rotating electrical machines – Part 24: Detection and diagnosis of potential failures at the active parts of rotating electrical machines and of bearing currents – Application guide“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 2 „Rotating machinery“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 311 „Drehende elektrische Maschinen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60034-27	–	–
–	Normen der Reihe ISO 10816	Normen der Reihe DIN ISO 10816	–
–	Normen der Reihe ISO 7919	Normen der Reihe DIN ISO 7919	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

Normen der Reihe DIN ISO 10816, *Mechanische Schwingungen – Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen*

Normen der Reihe DIN ISO 7919, *Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen – Messung und Bewertung von Wellenschwingungen*

Drehende elektrische Maschinen – Teil 24: Erkennung und Diagnose von möglichen Schäden an den Aktivteilen drehender elektrischer Maschinen und von Lagerströmen – Anwendungsleitfaden

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe.....	5
4 Grundlagen der Diagnose.....	5
5 Arten der Analyse von elektrischen Signalen	6
5.1 Grundlegende Anmerkungen.....	6
5.2 Ständer-Strom/Spannungsanalyse.....	6
5.3 Induzierte Spannungen in Hilfswindungen, die in die Ständernuten eingebettet sind, oder Signale anderer Magnetfeld-Sensoren zur Erfassung des Luftspaltflusses	7
5.4 Induzierte Spannungen von Messspulen für axiale Flüsse	8
5.5 Analyse der Wellenspannung	8
6 Erkennung von Lagerströmen	9
Anhang A: Literaturhinweise	12

Vorwort

Die Fortschritte in Entwurf und Technologie führten zu einer höheren Zuverlässigkeit drehender elektrischer Maschinen, aber Schäden konnten nicht vollständig vermieden werden. Da die Forderung nach einer hohen Verfügbarkeit ständig wächst, ist es wichtig, Fehler in einem frühen Stadium festzustellen und den Ursprung des Fehlers zu erkennen, um das Risiko eines Weiterbetriebes einzuschätzen.

Es wäre vorteilhaft, wenn die Signale, welche durch die in diesem Leitfaden vorgestellten Erfassungsmethoden erhalten werden, geeignet wären, um die verschiedenen Fehlerfälle voneinander zu unterscheiden. Auf diese Weise könnte die Signalanalyse die Eingangsdaten eines vollständigen Überwachungssystems liefern.

Dieser Leitfaden soll alle möglichen Hilfsmittel aufzeigen, welche für den beabsichtigten Zweck verfügbar sind, und deren Vor- und Nachteile erklären. Die Mindestanforderungen, welche durch die verschiedenen Sensoren erfüllt werden müssen, werden diskutiert, wohingegen deren detaillierte Bemessungsvorschriften außerhalb des Anwendungsbereiches dieses Dokumentes liegen.

Dieser Leitfaden befasst sich mit der Erkennung von Schäden an den aktiven Teilen drehender Mehrphasenmaschinen (alle Arten von Wicklungsfehlern in Ständer und Läufer, Käfigschäden, Exzentrizitäten) und von Lagerströmen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Reihe IEC 60034 befasst sich mit der Erkennung und Diagnose von Fehlern an den Aktivteilen drehender Mehrphasen-Maschinen (Induktions- und Synchronmaschinen) während des Betriebes und von Lagerströmen. Die Schadensanalyse schließt ein:

- Windungsschlüsse
- Phasenschlüsse
- Doppel-Erdschlüsse und Einfach-Erdschlüsse von Motoren mit Erdverbindung des Sternpunktes
- statische und dynamische Exzentrizitäten
- Käfig-Schäden (z. B. gebrochene Stäbe oder Kurzschlussringe)
- Lagerströme

Das Ziel kann mit Hilfsmitteln wie Messspulen oder anderen Magnetfeld-Sensoren oder teilweise durch die Analyse der Klemmen-Spannungen und –Ströme erreicht werden.

Die Erfassung der nachstehenden Effekte ist vom Anwendungsbereich ausgeschlossen:

- Schwingungen (abgedeckt durch ISO-Normen, z. B. ISO 10816 und ISO 7919)
- Teilentladungen (abgedeckt durch IEC 60034-27)
- Erdschlüsse in einem Motorstrang ohne Erdverbindung des Sternpunktes
- Fehler an den Blechpaketen
- Spezielle Verfahren, die nur bei bestimmten Anwendungen (z. B. bei Turbogeneratoren) vorkommen.

2 Normative Verweisungen

Keine

3 Begriffe

Keine

4 Grundlagen der Diagnose

Die Betriebsbereitschaft elektrischer Maschinen ist an die Existenz eines magnetischen Feldes im Luftspalt geknüpft, das sich in einer Querschnittsebene der Bleche von Ständer und Läufer schließt. Flusskomponenten in den Endzonen der Maschine außerhalb der Blechpakete sind parasitär. Deshalb gehen alle verfügbaren und für die Fehlererkennung brauchbaren Signale vom magnetischen Feld im Luftspalt aus. Das Luftspaltfeld muss analysiert werden, um zwischen solchen Komponenten zu unterscheiden, welche unter normalen Betriebsbedingungen entstehen und solchen, welche einem bestimmten Schaden eigentümlich sind und in einer intakten Maschine nicht vorkommen.

Da die das magnetische Feld erzeugende Wicklung aus Spulen besteht, die symmetrisch über den Umfang verteilt sind, und da die Summe der die Wicklung speisenden Ströme üblicherweise Null ist, bildet das Luftspaltfeld ebenfalls eine periodische Funktion entlang des Umfangs. Die Induktionswelle kann aufgefasst werden als die Überlagerung einer Summe von sinusförmig verteilten Wellen, welche durch die folgenden Merkmale charakterisiert sind:

- Amplitude,
- Polpaarzahl,
- Winkelgeschwindigkeit,
- Phasenwinkel,
- Art der Welle (Drehfeld oder Wechselfeld).

Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung des Luftspaltfeldes für einen Drehstrom-Induktionsmotor mit Käfigläufer, der mit einer Ganzlochwicklung ausgerüstet ist. Die Tabelle kann leicht so ausgeweitet werden, dass sie auch für Bruchlochwicklungen gültig ist. Ähnliche Tabellen können für Motoren mit Schleifringläufer und alle Arten von Synchronmaschinen entwickelt werden.

5 Arten der Analyse von elektrischen Signalen

5.1 Grundlegende Anmerkungen

Eine verwertbare Erkennungsmethode muss Schäden in einem frühen Zustand erfassen können. Deshalb sind Signale, welche eine sprunghafte Änderung bereits bei kleinen Schäden aufweisen, für den beabsichtigten Zweck optimal. Im Gegensatz dazu sollten Signale, die sich nur unbedeutend ändern, nicht als Grundlage der Diagnose genutzt werden.

Die Signalauswertung erfordert die Verfügbarkeit eines geeigneten elektronischen Gerätes. Obwohl die Auflösung moderner Einrichtungen hoch ist, sollten Signale bevorzugt werden, die in dieser Hinsicht keine extreme Genauigkeit erfordern.

5.2 Ständer-Strom/Spannungsanalyse

Die Analyse der Klemmenspannungen oder der speisenden Ströme einer elektrischen Maschine erlaubt die Unterscheidung bezüglich

- unterschiedlicher Frequenzen,
- von Mit- und Gegenkomponenten,
- unterschiedlicher Amplituden der Größen.

Grundsätzlich können alle im Luftspaltfeld enthaltenen Induktions-Drehwellen Spannungen einer bestimmten Frequenz in der Ständerwicklung induzieren und Ströme der gleichen Frequenz hervorrufen. Die zusätzlichen Stromkomponenten, die durch einen bestimmten Fehler hervorgerufen werden, überlagern sich den Strömen des ungestörten Betriebes. Alle Einzelheiten können einer entsprechenden Tabelle entnommen werden, dies ist Tabelle 1 im Fall von Drehstrom-Induktionsmotoren mit Käfigläufer.

Tabelle 1 wurde für eine einzelne Speisefrequenz f_1 aufgestellt. Bei einer umrichter gespeisten Maschine ist sie für jede Spannungs-/Frequenzkomponente f_1 gültig, welche im Ausgangsspektrum des Umrichters enthalten ist.

Tabelle 1 zeigt die Komponenten des Luftspaltfeldes. Ob eine bestimmte Komponente in der Ständerwicklung eine Spannung induziert, hängt von ihrem Wicklungsfaktor für die betrachtete Polpaarzahl ab. Der Wicklungsfaktor ist das Produkt der folgenden Terme

- dem Zonen-Wicklungsfaktor
- dem Sehnungsfaktor,
- dem Zweigfaktor.

Der Zweigfaktor ist unter Ingenieuren nicht allgemein bekannt, aber für das betrachtete Problem von fundamentaler Bedeutung. Jede symmetrische Drehstrom-Ganzlochwicklung besteht aus p (im Falle einer Einschichtwicklung) oder $2p$ (im Falle einer Zweischichtwicklung) identischen Spulengruppen (Zweigen), welche symmetrisch über den Umfang verteilt sind. Sie können in Reihe geschaltet werden oder in parallelen Zweigen mit der größten Anzahl $a = 2p$. Die Schaltungsart beeinflusst den Zweigfaktor einer Induktionswelle mit einer bestimmten Polpaarzahl sehr stark.

Man kann zeigen, dass der Zweigfaktor für die Exzentrizitätsfelder mit $\nu = p + 1$ und $\nu = p - 1$ für alle Wicklungen mit Reihenschaltung der Spulengruppen Null ist. Folglich *können beide Arten von Exzentrizität bei Maschinen mit so geschalteter Wicklung durch eine Ständer-Stromanalyse nicht erkannt werden.*

Der Zweigfaktor der Oberwellen entsprechend den Zeilen 1 bis 4 in Tabelle 1 hängt also von der individuellen Wicklungskonfiguration und zusätzlich von der Anzahl der Läuferfuten ab. Die Bemessung einer bestimmten

Maschine wird vom Hersteller unter unterschiedlichen Gesichtspunkten (z. B. Unterdrückung des einseitig magnetischen Zuges, Vermeidung störender magnetischer Einzeltöne usw.) ausgewählt und ist dem Betreiber unbekannt. *Es ist deshalb nicht ratsam, die Läufer-Oberfelder gemäß den Zeilen 3 und 4 als Signal einer Ständerstromanalyse heranzuziehen.*

Die Gruppe der Wicklungsfehler gemäß Zeile 3 verursacht die schwerwiegendsten Schäden an den aktiven Teilen. Sie alle erzeugen magnetische Felder mit Grundfrequenz. *Folglich können Wicklungsfehler durch eine Frequenzanalyse der Ständerströme nicht erkannt werden.*

Die Feldwellen, die bei Wicklungsfehlern entstehen, stellen elliptische Felder dar, was gleichbedeutend ist mit der Überlagerung von zwei gegenläufigen Feldwellen, welche die gleiche Polzahl und die gleiche Frequenz besitzen, jedoch unterschiedliche Amplituden. Im Grundsatz können solche Fehler durch Messung der Gegenkomponente des Stromes von Grundfrequenz erkannt werden.

Insbesondere bei dem besonders gefährlichen Fehlerfall Windungsschluss einer Hochspannungsmaschine, bei dem die hohen Ströme in nur einer der vielen Windungen eines Stranges fließen, ist diese Komponente sehr klein. Eine Gegenkomponente des Stromes kann auch aus einer unvermeidlichen kleinen Unsymmetrie der Speisespannungen entstehen (eine Gegenkomponente der Spannung verursacht eine mit dem Faktor 5 bis 7 größere Gegenkomponente des Stromes). *Insgesamt ist es nicht empfehlenswert, Wicklungsfehler mit Hilfe einer Spannungs-/Stromanalyse zu überwachen.*

Der einzige Schaden, für den eine zuverlässige Erkennung durch die Ständerstromanalyse möglich ist, stellt eine Käfigunsymmetrie dar. *Insgesamt stellt die Ständerstromanalyse jedoch ein diagnostisches Hilfsmittel von sehr begrenztem Nutzen dar.*

Ein weiterer Nachteil der Ständerstromanalyse darf nicht unberücksichtigt bleiben. Statistische Untersuchungen von Versicherungsgesellschaften weisen aus, dass die meisten Wicklungsfehler im Zuge von Ausgleichsvorgängen wie Anlauf der Motoren, Kurzschlüsse an den Klemmen usw. geschehen, die hohe Stoßströme bewirken. Es ist jedoch unmöglich, Fehler während der Zeitdauer transienter Vorgänge mit Hilfe einer Stromanalyse zu erkennen.

5.3 Induzierte Spannungen in Hilfswindungen, die in die Ständernuten eingebettet sind, oder Signale anderer Magnetfeld-Sensoren zur Erfassung des Luftspaltflusses

Ein ideales diagnostisches Signal würde im Betrieb einer intakten Maschine unter stationären und transienten Bedingungen Null sein. Es würde mit dem Schadensausmaß für alle Arten von Fehlern entsprechend den Zeilen 3 bis 5 von Tabelle 1 anwachsen und erlauben, zwischen den Fehlerarten zu unterscheiden. Es wurden Lösungen erarbeitet, die dem Optimum nahe kommen.

Sie basieren auf Windungen aus isoliertem Runddraht, dessen Durchmesser ausschließlich unter mechanischen Gesichtspunkten ausgewählt werden darf. Beide Spulenseiten werden in die Ständernuten der Hauptwicklung eingelegt, üblicherweise während der Herstellung der Maschine zwischen der Oberlage der Wicklung und dem Nutenverschlusskeil. Das Einbringen der Messwindungen in einem späteren Stadium ist möglich. Die Stirnverbindungen werden dicht am Blechpaketende geführt.

Der gleiche Einblick in das magnetische Feld an bestimmten Stellen der Ständerbohrung kann u. U. anstelle mit Messwindungen auch durch anderen Arten von Magnetfeldsensoren erreicht werden.

Üblicherweise werden mehrere Windungen der gleichen Weite in Reihe geschaltet und um einen vorausgerechneten Winkel gegeneinander am Umfang versetzt. Letztendlich soll ein System von Messspulen erreicht werden, für welches der resultierende Wicklungsfaktor Null ist für alle Luftspaltfelder, die im ungestörten Betrieb existieren, und für welches der Wicklungsfaktor maximal wird für das Feld mit derjenigen Polpaarzahl, die als Referenzfeld der Diagnose benutzt werden soll.

Falls ein System von Messspulen gefunden werden kann, das die vorstehend erläuterte Bedingung erfüllt für ein Referenzfeld, das zu den Feldern zählt, die bei allen Fehlerfällen der Zeilen 3 bis 5 erzeugt werden, wäre das Messspulensystem komplett. Es verbleibt eine Schwierigkeit:

Die Felder, die durch einen Wicklungsfehler nach Zeile 3 von Tabelle 1 erzeugt werden, stellen elliptische Felder dar. Falls eines von ihnen als Referenzfeld ausgewählt wird, würde die induzierte Spannung des

Messspulensystems je nach Ort der Fehlerstelle am Umfang unterschiedlich groß sein. Dies ist natürlich nicht hinnehmbar.

Die Schwierigkeit kann durch den Einsatz eines zweiten identischen Messspulensystems beseitigt werden, das gegenüber dem ersten um den Winkel $\pi/(2v)$ am Umfang versetzt ist. Hierin bedeutet v die Polpaarzahl des Referenzfeldes. Die beiden Messspulensysteme bilden so ein symmetrisches Zweiphasensystem, das auf einfache Weise die Berechnung der Symmetrischen Komponenten (SK) der beiden gemessenen Spannungen erlaubt. Die SK hängen nicht vom Fehlerort ab.

Dieser Leitfaden ist nicht die geeignete Stelle zur Darlegung der Entwurfsregeln des Messspulensystems in allen Einzelheiten. Es soll nur erwähnt werden, dass die kleinste Windungszahl je Messspulensystem üblicherweise zwischen 6 und 12 liegt abhängig von den Daten der betrachteten Maschine und den Ansprüchen an die Empfindlichkeit der Diagnose.

Das Referenzfeld wird aus der Liste der Luftspaltfelder ausgewählt, welche in dem betrachteten Fehlerfall erzeugt werden und im Normalbetrieb Null sind. Deshalb ist die Amplitude des Referenzfeldes nahezu unverändert während Ausgleichsvorgängen. Diese Feststellung wurde durch Tests überprüft.

Die Vorgehensweise bei der Diagnose ist anhand von Tabelle 2 erläutert. Wicklungsfehler sind dadurch gekennzeichnet, dass beide Symmetrischen Komponenten vorkommen und Netzfrequenz besitzen. Auch die Spannungen im Fall einer statischen Exzentrizität haben Netzfrequenz, die Gegenkomponente U_n ist dann jedoch Null. Eine dynamische Exzentrizität kann von anderen Fehlerfällen anhand der typischen Frequenzen der induzierten Spannungen unterschieden werden. Läuferunsymmetrien sind durch andere typische Frequenzen gekennzeichnet; die induzierten Spannungen werden Null, wenn die Maschine im Synchronismus betrieben wird ($s = 0$), weil dann die Läuferströme, welche das Referenzfeld bewirken, verschwinden.

Zusammengefasst stellt ein fachmännisch bemessenes Messspulensystem ein nützliches Werkzeug für die Erkennung und Diagnose von Fehlern dar.

Der Vollständigkeit halber wird erwähnt, dass andere Arten von Messspulen in wissenschaftlichen Veröffentlichungen vorgeschlagen wurden, die z. B. nur einen Ständerzahn umschlingen. Sie können nützlich sein, um eine bestimmte Erscheinung zu erforschen, sie sind jedoch unbrauchbar, um hieraus eine vollständige Diagnose herzuleiten, und fanden deshalb auch keinen Eingang in die Ingenieurpraxis.

5.4 Induzierte Spannungen von Messspulen für axiale Flüsse

Es wurden Vorschläge unterbreitet, entweder Ringspulen im Stirnraum der Maschine zu befestigen oder Spulen, welche die Welle umschlingen. In beiden Fällen soll der Axial-Fluss der Maschine genutzt werden, um Fehler zu erkennen. Solche Vorrichtungen sind aus den nachstehenden Gründen grundsätzlich nicht vorteilhaft.

Axialfluss-Komponenten sind stets parasitär und unerwünscht, weil das Verhalten der Maschine sich auf Flusskomponenten gründet, welche sich in einer Querschnittsfläche der Bleche schließen. Der Axialfluss ist wegen des hohen magnetischen Widerstandes von Luft sehr klein. Der Axialfluss kann durch analytische Rechnungen nicht vorausbestimmt werden.

Der Fluss, der durch die besonders wichtigen Wicklungsfehler erzeugt wird, besitzt Grundfrequenz, und die Größe seiner Axialkomponente ist unvorhersehbar.

Nur im Falle von Exzentrizitäten in 2poligen Maschinen entartet das Exzentrizitätsfeld mit der Polpaarzahl $p - 1$ zu einem Unipolarfeld, das erfolgreich mit Hilfe einer Ringspule gemessen werden kann, die die Ständerbohrung umschließt und an einem Blechpaketende befestigt wird.

Mit dieser Ausnahme ist der Einsatz von Messspulen zur Erfassung axialer Flüsse nicht empfehlenswert.

5.5 Analyse der Wellenspannung

Einige Autoren behaupten, die Messung der Wellenspannung sei nützlich, um eine beliebige Störung der inneren Flussverteilung einer Maschine zu erkennen.