

	DIN EN IEC 60034-4-1 (VDE 0530-4-1)	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
<p>ICS 29.160.01</p> <p>Ersatz für DIN EN 60034-4 (VDE 0530-4):2009-04 Siehe Anwendungsbeginn</p> <p>Drehende elektrische Maschinen – Teil 4-1: Verfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von Synchronmaschinen durch Messungen (IEC 60034-4-1:2018); Deutsche Fassung EN IEC 60034-4-1:2018</p> <p>Rotating electrical machines – Part 4-1: Methods for determining electrically excited synchronous machine quantities from tests (IEC 60034-4-1:2018); German version EN IEC 60034-4-1:2018</p> <p>Machines électriques tournantes – Partie 4-1: Méthodes pour la détermination, à partir d'essais, des grandeurs des machines synchrones à excitation électrique (IEC 60034-4-1:2018); Version allemande EN IEC 60034-4-1:2018</p> <p>Gesamtumfang 75 Seiten</p> <p>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE</p>		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2018-06-01 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2019-06-01.

Für **DIN EN 60034-4 (VDE 0530-4):2009-04** besteht eine Übergangsfrist bis 2021-06-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60034-4-1 (VDE 0530-4-1):2016-10.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 311 „Drehende elektrische Maschinen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 2 „Rotating machinery“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieses Dokuments bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu diesem Dokument angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees das Dokument

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60034-4 (VDE 0530-4):2009-04** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Bewertung der Methoden hinsichtlich der Eignung für permanentmagneterregte Synchronmaschinen;
- b) der Entfall von Methoden, welche nur selten angewandt werden;
- c) die Anpassung der Auswertungsmethoden hinsichtlich rechnergestützter Auswertung anstelle von grafischer;
- d) die Deutsche Fassung wurde in den **Abschnitten 2 und 3** an die aktuellen Standardtexte angepasst.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0530-4 (VDE 0530-4): 1966-10, **1989-09**

DIN EN 60034-4 (VDE 0530-4): 1998-04, 2009-04

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

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

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

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60034-1:2017	–	–
EN 60034-2-1	IEC 60034-2-1	DIN EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1)	VDE 0530-2-1
EN 60051 (alle Teile)	IEC 60051 (alle Teile)	DIN EN 60051 (alle Teile)	–
EN 60034-4:2008	IEC 60034-4:2008	DIN EN 60034-4 (VDE 0530-4):2009-04	VDE 0530-4
–	IEC 60050-411:1996	a	–
a „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev .			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge)*

DIN EN 60034-4 (VDE 0530-4):2009-04, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 4: Verfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von Synchronmaschinen durch Messungen (IEC 60034-4:2008); Deutsche Fassung EN 60034-4:2008*

DIN EN 60051 (alle Teile), *Direkt wirkende anzeigende elektrische Messgeräte und ihr Zubehör*

**Drehende elektrische Maschinen –
Teil 4-1: Verfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von Synchronmaschinen
durch Messungen
(IEC 60034-4-1:2018)**

Rotating electrical machines –
Part 4-1: Methods for determining electrically
excited synchronous machine quantities from
tests
(IEC 60034-4-1:2018)

Machines électriques tournantes –
Partie 4-1: Méthodes pour la détermination, à
partir d'essais, des grandeurs des machines
synchrones à excitation électrique
(IEC 60034-4-1:2018)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2018-06-01 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels

© 2018 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN IEC 60034-4-1:2018 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 2/1829/CDV, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 60034-4-1, erarbeitet vom IEC/TC 2 „Rotating machinery“ wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 60034-4-1:2018 angenommen

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2019-03-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2021-06-01

Dieses Dokument ersetzt **EN 60034-4:2008**.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60034-4-1:2018 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abänderungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgeführten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cenelec.eu.

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 60034-1	2017	Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance	–	–
IEC 60034-2-1	–	Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)	EN 60034-2-1	–
IEC 60051	–	Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories	EN 60051	–

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	2
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	3
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Symbole und Einheiten.....	14
5 Übersicht der Messverfahren	16
6 Prüfverfahren	18
6.1 Allgemeines	18
6.1.1 Anforderungen an die Messinstrumente	18
6.1.2 Anforderungen an die Erregereinrichtung	18
6.1.3 Prüfbedingungen	18
6.1.4 Bezugsgrößen	19
6.1.5 Vereinbarungen und Annahmen	19
6.1.6 Berücksichtigung von Sättigungserscheinungen	20
6.2 Direkte Messung des Erregerstroms im Bemessungsbetrieb	21
6.3 Messung von Gleichstrom-Widerständen	21
6.4 Leerlaufprüfung	21
6.4.1 Prüfungsdurchführung	21
6.4.2 Leerlaufkennlinie	22
6.5 Dreiphasige Dauerkurzschlussprüfung	22
6.5.1 Prüfungsdurchführung	22
6.5.2 Kurzschlusskennlinie	23
6.6 Motorbetrieb im Leerlauf.....	23
6.7 Übererregungsprüfung bei Leistungsfaktor Null.....	24
6.8 Gegenüberregungsprüfung	24
6.9 Messung des Polradwinkels unter Last.....	24
6.10 Prüfung mit kleinem Schlupf.....	24
6.11 Dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung.....	25
6.12 Prüfung mit wiederkehrender Spannung.....	25
6.13 Dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung nach vorheriger Netztrennung.....	26
6.14 Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	26
6.15 Prüfung mit angelegter Spannung bei Läuferstellung in Längs- und Querachse	27
6.16 Prüfung mit angelegter Spannung und beliebiger Winkelstellung des Läufers.....	28
6.17 Prüfung mit Einphasen-Spannung an den drei Wicklungssträngen.....	28
6.18 Unsymmetrische zweipolige Dauerkurzschlussprüfung	29
6.19 Dauerkurzschlussprüfung mit zwei untereinander und mit dem Sternpunkt kurzgeschlossenen Wicklungssträngen	29

6.20	Prüfung mit gegenläufigem Drehfeld	30
6.21	Feldstrom-Abklingprüfung mit offener Ankerwicklung.....	30
6.21.1	Prüfung bei Bemessungsdrehzahl	30
6.21.2	Prüfung bei Stillstand	30
6.22	Prüfung mit ausgebautem Läufer.....	31
6.23	Auslaufprüfung im Leerlauf	31
6.24	Prüfung mit festgebremstem Läufer.....	32
6.25	Asynchroner Betrieb mit reduzierter Spannung	32
6.26	Übererregungsprüfung bei Leistungsfaktor Null und variabler Ankerspannung	33
6.27	Prüfung mit einer Spannung variabler Frequenz im Stillstand.....	33
7	Bestimmung der Kenngrößen	35
7.1	Auswertung der aufgezeichneten Daten	35
7.1.1	Leerlaufkennlinie und Kurzschlusskennlinie aus dem dreiphasigen Dauerkurzschluss.....	35
7.1.2	Dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung	35
7.1.3	Prüfung mit wiederkehrender Spannung	38
7.1.4	Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand.....	38
7.1.5	Prüfung mit plötzlicher Aufschaltung der Erregung bei offener Ankerwicklung	40
7.2	Synchron-Längsreaktanz	40
7.2.1	Bestimmung aus dem Leerlauf- und der dreipoligen Dauerkurzschlussprüfung	40
7.2.2	Bestimmung aus dem Motorbetrieb im Leerlauf	41
7.2.3	Bestimmung aus der Messung des Polradwinkels unter Last	41
7.3	Transient-Längsreaktanz	41
7.3.1	Bestimmung aus der dreiphasigen Stoßkurzschlussprüfung.....	41
7.3.2	Bestimmung aus der Prüfung mit wiederkehrender Spannung	42
7.3.3	Bestimmung aus der Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	42
7.3.4	Berechnung aus Messergebnissen.....	42
7.4	Subtransient-Längsreaktanz	42
7.4.1	Bestimmung aus der dreiphasigen Stoßkurzschlussprüfung.....	42
7.4.2	Bestimmung aus der Prüfung mit wiederkehrender Spannung	42
7.4.3	Bestimmung aus der Prüfung mit angelegter Spannung bei Läuferstellung in Längs- und Querachse.....	43
7.4.4	Bestimmung aus der Prüfung mit angelegter Spannung und beliebiger Winkelstellung des Läufers	43
7.5	Synchron-Querreaktanz	43
7.5.1	Bestimmung aus der Gegenerregungsprüfung.....	43
7.5.2	Bestimmung aus der Prüfung mit kleinem Schlupf.....	44
7.5.3	Bestimmung aus der Messung des Polradwinkels unter Last	45
7.6	Transient-Querreaktanz	46
7.6.1	Bestimmung aus der Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	46

7.6.2	Berechnung aus Messergebnissen	46
7.7	Subtransient-Querreaktanz	46
7.7.1	Bestimmung aus der Prüfung mit angelegter Spannung bei Läuferstellung in Längs- und Querachse	46
7.7.2	Bestimmung aus der Prüfung mit angelegter Spannung und beliebiger Winkelstellung des Läufers.....	46
7.8	Nullreaktanz.....	47
7.8.1	Bestimmung aus der Prüfung mit Einphasen-Spannung an den drei Wicklungssträngen	47
7.8.2	Bestimmung aus der Dauerkurzschlussprüfung mit zwei untereinander und mit dem Sternpunkt kurzgeschlossenen Wicklungssträngen.....	47
7.9	Inversreaktanz	47
7.9.1	Bestimmung aus der unsymmetrischen zweipoligen Dauerkurzschlussprüfung	47
7.9.2	Bestimmung aus der Prüfung mit gegenläufigem Drehfeld	48
7.9.3	Berechnung aus Messergebnissen	48
7.9.4	Bestimmung aus der Gleichstrom-Abklingprüfung bei Stillstand	49
7.10	Anker-Streureaktanz.....	49
7.11	Potier-Reaktanz.....	50
7.12	Nullwiderstand	50
7.12.1	Bestimmung aus der Prüfung mit Einphasen-Spannung an den drei Wicklungssträngen	50
7.12.2	Bestimmung aus der Dauerkurzschlussprüfung mit zwei untereinander und mit dem Sternpunkt kurzgeschlossenen Wicklungssträngen.....	50
7.13	Synchron-Widerstand	51
7.14	Inverswiderstand	51
7.14.1	Bestimmung aus der unsymmetrischen zweipoligen Dauerkurzschlussprüfung	51
7.14.2	Bestimmung aus der Prüfung mit gegenläufigem Drehfeld	51
7.15	Ohmsche Widerstände der Anker- und der Erregerwicklung.....	52
7.16	Transient-Kurzschlusszeitkonstante der Längsachse.....	52
7.16.1	Bestimmung aus der dreiphasigen Stoßkurzschlussprüfung	52
7.16.2	Bestimmung aus der Gleichstrom-Abklingprüfung bei Stillstand	52
7.17	Transient-Leerlaufzeitkonstante der Längsachse	53
7.17.1	Bestimmung aus der Feldstrom-Abklingprüfung mit offener Ankerwicklung bei Bemessungsdrehzahl.....	53
7.17.2	Bestimmung aus der Feldstrom-Abklingprüfung mit offener Ankerwicklung bei Stillstand	53
7.17.3	Bestimmung aus der Prüfung mit wiederkehrender Spannung	53
7.17.4	Bestimmung aus der Gleichstrom-Abklingprüfung bei Stillstand	53
7.18	Subtransient-Kurzschlusszeitkonstante der Längsachse.....	53
7.19	Subtransient-Leerlaufzeitkonstante der Längsachse	53
7.19.1	Bestimmung aus der Prüfung mit wiederkehrender Spannung	53
7.19.2	Bestimmung aus der Gleichstrom-Abklingprüfung im Stillstand	53
7.20	Transient-Kurzschlusszeitkonstante der Querachse.....	53

7.20.1	Berechnung aus Messergebnissen.....	53
7.20.2	Bestimmung aus der Gleichstrom-Abklingprüfung im Stillstand.....	54
7.21	Transient-Leerlaufzeitkonstante der Querachse.....	54
7.22	Subtransient-Kurzschlusszeitkonstante der Querachse.....	54
7.22.1	Berechnung aus Messergebnissen.....	54
7.22.2	Bestimmung aus der Gleichstrom-Abklingprüfung im Stillstand.....	54
7.23	Subtransient-Leerlaufzeitkonstante der Querachse.....	54
7.24	Anker-Kurzschlusszeitkonstante.....	54
7.24.1	Bestimmung aus der dreiphasigen Stoßkurzschlussprüfung.....	54
7.24.2	Berechnung aus Messergebnissen.....	55
7.25	Anlauf- und Trägheitszeitkonstante.....	55
7.26	Bemessungserregerstrom.....	55
7.26.1	Direkte Messung.....	55
7.26.2	Potier-Diagramm.....	55
7.26.3	ASA-Diagramm.....	56
7.26.4	Schweden-Diagramm.....	57
7.27	Erregerstrom für Anker-Bemessungsstrom im Dauerkurzschluss.....	58
7.27.1	Bestimmung aus der dreiphasigen Dauerkurzschlussprüfung.....	58
7.27.2	Bestimmung aus der Übererregungsprüfung bei Leistungsfaktor Null.....	59
7.28	Frequenzcharakteristik.....	59
7.28.1	Allgemeines.....	59
7.28.2	Bestimmung aus dem asynchronen Betrieb bei reduzierter Spannung.....	60
7.28.3	Prüfung mit einer Spannung variabler Frequenz im Stillstand.....	60
7.28.4	Bestimmung aus der Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand.....	62
7.29	Leerlauf-Kurzschlussverhältnis.....	62
7.30	Bemessungs-Spannungsänderung.....	62
7.30.1	Direkte Messung.....	62
7.30.2	Bestimmung aus der Leerlaufkennlinie und bekanntem Bemessungserregerstrom.....	63
7.31	Kurzschlussimpedanz von Synchronmotoren.....	63
Anhang A (informativ) Prüfungen Querverweise.....		64
Anhang B (informativ) Berechnungsschema für die Frequenzcharakteristik.....		67
B.1	Grundlagen.....	67
B.2	Berechnung der Parameter.....	67
Anhang C (informativ) Konventionelles elektrisches Maschinenmodell.....		69
Literaturhinweise.....		71
Bilder		
Bild 1 – Schaltung für die Gleichstrom-Abklingprüfung der Ständerwicklung im Stillstand.....		27
Bild 2 – Schaltbild für die zweipolige Dauerkurzschlussprüfung.....		29
Bild 3 – Schaltbild für den Dauerkurzschluss mit zwei untereinander und dem Sternpunkt		

	Seite
kurzgeschlossenen Wicklungssträngen	29
Bild 4 – Anordnung der Messspule bei ausgebautem Läufer.....	31
Bild 5 – Aufgenommene Leistung und Strom über dem Schlupf (Beispiel).....	33
Bild 6 – Schaltung für die Prüfung mit variabler Frequenz im Stillstand.....	34
Bild 7 – Aufgezeichnete Größen aus der Prüfung mit variabler Frequenz im Stillstand (Beispiel)	34
Bild 8 – Leerlauf-/Kurzschlusskennlinien	35
Bild 9 – Bestimmung von Zwischenwerten auf den Hüllkurven.....	36
Bild 10 – Bestimmung der transienten Komponente des Stoßkurzschlussstromes.....	37
Bild 11 – Bestimmung der subtransienten Komponente des Stoßkurzschlussstromes	37
Bild 12 – Transiente und subtransiente Komponente der wiederkehrenden Spannung	38
Bild 13 – Halblogarithmische Darstellung der Abklingkurven.....	39
Bild 14 – Plötzliche Aufschaltung der Erregung bei offener Ankerwicklung.....	40
Bild 15 – Induzierte Leerlaufspannung und Erregerstrom bei Schlüpfen um eine Polteilung	44
Bild 16 – Strom-Hüllkurven aus der Prüfung mit kleinem Schlupf.....	45
Bild 17 – Bestimmung der Potier-Reaktanz.....	50
Bild 18 – Potier-Diagramm.....	56
Bild 19 – ASA-Diagramm	57
Bild 20 – Schweden-Diagramm	58
Bild 21 – Erregerstrom aus der Übererregungsprüfung mit Leistungsfaktor Null.....	59
Bild 22 – Frequenzcharakteristik bei niedrigen Frequenzen (Beispiel)	60
Bild C.1 – Ersatzschaltbild einer Schenkelpolmaschine.....	69
Tabellen	
Tabelle 1 – Messverfahren und Querverweise.....	16
Tabelle A.1 – Prüfungen Querverweise.....	64

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für dreiphasige Synchronmaschinen mit einer Bemessungs-Scheinleistung von 1 kVA und größer.

Die meisten der angegebenen Verfahren sind für die Anwendung an Maschinen mit Erregung über Schleifringe und Bürsten gedacht. Bei Synchronmaschinen mit bürstenloser Erregung sind dagegen bei einigen der angegebenen Prüfungen besondere Maßnahmen zur Durchführung erforderlich. Für Maschinen mit Permanentmagnet-Erregung sind die beschriebenen Prüfungen nur eingeschränkt anwendbar. Ferner müssen Vorsichtsmaßnahmen gegen irreversible Entmagnetisierung getroffen werden.

Die angegebenen Prüfungen gelten nicht für Axialfeld-Maschinen und Sonderausführungen von Synchronmaschinen, wie Induktormaschinen, Transversalfeld-Maschinen und Reluktanzmaschinen.

Dieses Dokument bedeutet nicht, dass einige oder alle beschriebenen Prüfungen an einer bestimmten Maschine durchgeführt werden müssen. Vielmehr sind die jeweils durchzuführenden Prüfungen zwischen Hersteller und Betreiber besonders zu vereinbaren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60034-1:2017, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-2-1, *Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)*

IEC 60051 (alle Teile), *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

<Synchronmotoren> Kurzschlussimpedanz

Quotient aus der angelegten Klemmenspannung und dem eingeschwungenen Mittelwert des Ankerstroms bei stillstehender Maschine

3.2

Synchron-Längsreaktanz

Quotient aus dem eingeschwungenen Wert derjenigen Grundsatzkomponente der Strangspannung, die durch den gesamten Ankerfluss der Längsachse infolge des Anker-Längsstroms erzeugt wird (Querspannung), und dem Grundsatzwert dieses Stroms (Längsstrom) bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-07]

3.3

Transient-Längsreaktanz

Quotient aus dem Anfangswert einer plötzlichen Änderung derjenigen Grundswingungskomponente der Strangspannung, die durch den gesamten Ankerfluss in der Längsachse erzeugt wird (Querspannung), und dem sich gleichzeitig ändernden Wert der Grundswingungskomponente des Anker-Längsstroms bei Bemessungsdrehzahl. Dabei werden die rasch abklingenden Anteile während der ersten Perioden nicht berücksichtigt.

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-09]

3.4

Subtransient-Längsreaktanz

Quotient aus dem Anfangswert einer plötzlichen Änderung derjenigen Grundswingungskomponente der Strangspannung, die durch den gesamten Ankerfluss der Längsachse erzeugt wird (Querspannung), und dem sich gleichzeitig ändernden Wert der Grundswingungskomponente des Anker-Längsstroms bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-11]

3.5

Synchron-Querreaktanz

Quotient aus dem eingeschwungenen Wert derjenigen Grundswingungskomponente der Strangspannung, die durch den gesamten Ankerfluss in der Querachse infolge des Anker-Querstromes erzeugt wird (Längsspannung), und dem Grundswingungswert dieses Stroms (Querstrom) bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-08]

3.6

Transient-Querreaktanz

Quotient aus dem Anfangswert einer plötzlichen Änderung derjenigen Grundswingungskomponente der Strangspannung, die durch den gesamten Ankerfluss in der Querachse erzeugt wird (Längsspannung), und dem sich gleichzeitig ändernden Wert der Grundswingungskomponente des Anker-Querstroms bei Bemessungsdrehzahl. Dabei werden die rasch abklingenden Anteile während der ersten Perioden nicht berücksichtigt.

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-10]

3.7

Subtransient-Querreaktanz

Quotient aus dem Anfangswert einer plötzlichen Änderung derjenigen Grundswingungskomponente der Strangspannung, die durch den gesamten Ankerfluss der Querachse erzeugt wird (Längsspannung), und dem sich gleichzeitig ändernden Wert der Grundswingungskomponente des Anker-Querstromes bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-12]

3.8

Synchronreaktanz

Quotient aus der Grundswingungs-Blindkomponente einer mitlaufenden Ankerspannung infolge eines sinusförmigen, mitlaufenden Ankerstromes von Bemessungsfrequenz und dem Wert dieses Stromes bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-14]

3.9

Inversreaktanz

Quotient aus der Grundswingungs-Blindkomponente einer inversen Ankerspannung infolge eines sinusförmigen inversen Ankerstromes von Bemessungsfrequenz und dem Wert dieses Stromes bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-15]

3.10

Nullreaktanzen

Quotient aus der Grundschrwingungs-Blindkomponente einer Nullspannung der Ankerwicklung infolge der entsprechenden Grundschrwingung eines Nullstromes von Bemessungsfrequenz und dem Wert dieses Stromes bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-16]

3.11

Potier-Reaktanz

Reaktanz, die zustzlich zur Anker-Streureaktanz den Streufluss der Feldwicklung bei Last im bererregten Betrieb bercksichtigt. Die Potier-Reaktanz wird anstelle der Anker-Streureaktanz zur Berechnung des Last-erregestromes nach dem Potier-Verfahren verwendet.

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-13]

3.12

Ankerstreureaktanz

Quotient aus der Grundschrwingungs-Blindkomponente der Ankerspannung infolge des Streuflusses der Ankerwicklung und der Grundschrwingungskomponente des Ankerstromes bei Bemessungsdrehzahl

3.13

Gleichstromwiderstand der Ankerwicklung

Widerstand, der zwischen den Klemmen der Ankerwicklung bei Gleichstromspeisung gemessen und auf eine definierte Wicklungstemperatur bezogen wird. Der Gleichstromwiderstand der Ankerwicklung wird als Strangwert angegeben.

3.14

Gleichstromwiderstand der Erregerwicklung

Widerstand, der zwischen den Klemmen der Erregerwicklung bei Gleichstromspeisung gemessen und auf eine definierte Wicklungstemperatur bezogen wird

3.15

Synchron-Widerstand

Quotient aus dem Wirkanteil der Ankerspannung des Mitsystems aufgrund der ohmschen Verluste und der Zusatzverluste, die durch die Grundschrwingungskomponente des mitlaufenden Ankerstroms erzeugt werden, und dieser Stromkomponente bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-18]

3.16

Inverswiderstand

Quotient aus dem Wirkanteil der Grundschrwingungskomponente der inversen Ankerspannung infolge eines sinusfrmigen inversen Ankerstroms von Bemessungsfrequenz und dem Wert dieses Stroms bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-19]

3.17

Nullwiderstand

Quotient aus der Grundschrwingungs-Wirkkomponente einer Nullspannung der Ankerwicklung infolge der Grundschrwingung eines Nullstroms von Bemessungsfrequenz und dieser Komponente des Stromes bei Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-20]

3.18

Leerlauf-Kurzschluss-Verhältnis

Verhältnis des Leerlauf-Erregerstroms bei Bemessungsspannung zum Erregerstrom bei Bemessungs-Ankerstrom im symmetrischen Dauerkurzschluss; beide Werte bestimmt für Bemessungsdrehzahl

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-50-21]

3.19

Transient-Leerlaufzeitkonstante der Längsachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die durch den Längsfluss erregte, langsam veränderliche Komponente der Leerlauf-Ankerspannung (Querspannung) auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abklingt, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-27]

3.20

Transient-Kurzschlusszeitkonstante der Längsachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die langsam veränderliche Komponente des Kurzschluss-Ankerstroms in der Längsachse auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abklingt, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-28]

3.21

Subtransient-Leerlaufzeitkonstante der Längsachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die durch den Längsfluss erregte und während der ersten Perioden vorhandene, rasch abklingende Komponente der Leerlauf-Ankerspannung (Querspannung) auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abfällt, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-29]

3.22

Subtransient-Kurzschlusszeitkonstante der Längsachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die während der ersten Perioden vorhandene, rasch abklingende Komponente des Anker-Kurzschlussstromes der Längsachse auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abfällt, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-30]

3.23

Transient-Leerlaufzeitkonstante der Querachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die durch den Querfluss erregte, langsam veränderliche Komponente der Leerlauf-Ankerspannung (Längsspannung) auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abklingt, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-32]

3.24

Transient-Kurzschlusszeitkonstante der Querachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die langsam veränderliche Komponente des Kurzschluss-Ankerstroms in der Querachse auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abklingt, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-33]

3.25

Subtransient-Leerlaufzeitkonstante der Querachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die durch den Querfluss erregte, rasch abklingende Komponente der Leerlauf-Ankerspannung (Längsspannung) auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abfällt, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-34]

3.26

Leerlaufzeitkonstante der Ersatzdämpferwicklung der Längsachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die in der Ersatzdämpferwicklung induzierte Stromkomponente auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abklingt. Die Maschine läuft mit Bemessungsdrehzahl, Anker- und Erregerwicklung sind offen.

3.27

Kurzschlusszeitkonstante der Ersatzdämpferwicklung der Längsachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die in der Ersatzdämpferwicklung induzierte Stromkomponente auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abklingt. Die Maschine läuft mit Bemessungsdrehzahl, die Ankerwicklung ist kurzgeschlossen, die Erregerwicklung ist offen.

3.28

Subtransient-Kurzschlusszeitkonstante der Querachse

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die während der ersten Perioden vorhandene, rasch abklingende Komponente des Anker-Kurzschlussstroms der Querachse auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abfällt, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-35]

3.29

Anker-Kurzschlusszeitkonstante

Zeitspanne, in der nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen die aperiodische Gleichstromkomponente des Anker-Kurzschlussstromes auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abklingt, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-31]

3.30

Anlaufzeitkonstante

Zeitspanne, die benötigt wird, um den Läufer der Synchronmaschine vom Stillstand auf Bemessungsdrehzahl zu beschleunigen, unter der Annahme, dass das Beschleunigungsmoment konstant und gleich dem Quotienten aus der Bemessungs-Wirkleistung und der Bemessungs-Winkelgeschwindigkeit ist

[QUELLE: IEC 60050-411:1996, 411-48-15]

3.31

Trägheitskonstante

Quotient aus der bei Bemessungsdrehzahl im Läufer gespeicherten kinetischen Energie und der Bemessungs-Scheinleistung

3.32

Bemessungserregerstrom

Strom in der Erregerwicklung bei Betrieb der Maschine mit ihren Bemessungswerten für Spannung, Strom, Leistungsfaktor und Drehzahl

3.33

Erregerstrom für Anker-Bemessungsstrom im Dauerkurzschluss

Strom in der Erregerwicklung bei Betrieb der Maschine im eingeschwungenen Zustand mit Bemessungsdrehzahl, kurzgeschlossener Ankerwicklung und Bemessungs-Ankerstrom

3.34

Bemessungs-Spannungsänderung

Änderung der Klemmenspannung beim Übergang vom Bemessungsbetrieb in den Leerlaufbetrieb bei gleichbleibender Drehzahl und gleichbleibendem Erregerstrom

3.35

Frequenzcharakteristik

Der Frequenzgang einer Maschine wird durch die Anzahl charakteristischer Kurven oder analytischer Ausdrücke dargestellt, die den komplexen Leitwert oder die dazu reziproke komplexe Impedanz (oder Komponenten davon) in Bezug zum Schlupf setzen. Sofern nicht anders angegeben, gilt die Frequenzcharakteristik für Bemessungsfrequenz.

3.36

Frequenzcharakteristik der Längsreaktanz

Komplexer Quotient als Funktion des Schlupfes aus dem eingeschwungenen komplexen Wert (Zeiger) derjenigen Grundschwingungskomponente der Ankerspannung, die durch den Ankerstrom der Längsachse erzeugt wird, und dem Vektor der Grundschwingungskomponente dieses Stroms. Die Maschine läuft mit dem entsprechend vorgegebenen Schlupf sowie mit kurzgeschlossener Erregerwicklung.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die komplexe Darstellung einer sinusförmigen Größe definierter Frequenz wird als Zeiger oder alternativ, wie in diesem Dokument, als Vektor bezeichnet.

3.37

Frequenzcharakteristik der Querreaktanz

Komplexer Quotient als Funktion des Schlupfes aus dem eingeschwungenen Zeiger derjenigen Grundschwingungskomponente der Ankerspannung, die durch den Ankerfluss in der Querachse infolge des Anker-Querstroms erzeugt wird, und dem Vektor der Grundschwingungskomponente dieses Stroms. Die Maschine läuft mit dem entsprechend vorgegebenen Schlupf sowie mit kurzgeschlossener Erregerwicklung.

3.38

Frequenzcharakteristik des Erregungsfaktors

Komplexer Quotient aus dem eingeschwungenen Zeiger der Ankerspannung, hervorgerufen durch einen Strom der Frequenz $s \cdot f$ in der Erregerwicklung, und dem komplexen Wert der dafür an die Erregerwicklung angelegten Spannung. Die Maschine läuft mit Bemessungsdrehzahl.

4 Symbole und Einheiten

f	Frequenz
f_N	Bemessungsfrequenz
$G(js)$	Komplexer Frequenzgang des Erregungsfaktors
H	Trägheitskonstante
I, i	Strom
I_N	Bemessungsstrom
I_{fk}	Erregerstrom für Anker-Bemessungsstrom im Dauerkurzschluss
I_{fN}	Bemessungs-Erregerstrom
K_C	Leerlauf-Kurzschlussverhältnis
$R_{(0)}$	Nullwiderstand
$R_{(1)}$	Synchron-Widerstand
$R_{(2)}$	Inverswiderstand
R_a	Gleichstromwiderstand der Ankerwicklung
R_f	Gleichstromwiderstand der Erregerwicklung

s	Schlupf
S_N	Bemessungs-Scheinleistung
U, u	Spannung
U_N	Bemessungs-Spannung
$X_{(0)}$	Nullreaktanzen
$X_{(1)}$	Synchronreaktanzen
$X_{(2)}$	Inversreaktanzen
X_d	Synchron-Längsreaktanzen
X'_d	Transient-Längsreaktanzen
X''_d	Subtransient-Längsreaktanzen
X_p	Potier-Reaktanzen
X_q	Synchron-Querreaktanzen
X'_q	Transient-Querreaktanzen
X''_q	Subtransient-Querreaktanzen
X_σ	Ankerstreureaktanzen
$X_d(j\omega)$	Komplexe Frequenzcharakteristik der Längsreaktanzen
$X_q(j\omega)$	Komplexe Frequenzcharakteristik der Querreaktanzen
Z	Impedanz
Z_N	Bemessungsimpedanz
Z_{st}	Kurzschlussimpedanz
ΔU_N	Bemessungs-Spannungsänderung
δ	Lastwinkel
τ_a	Anker-Kurzschlusszeitkonstante
τ_{kd}	Kurzschlusszeitkonstante der Ersatzdämpferwicklung der Längsachse
τ_{kdo}	Leerlaufzeitkonstante der Ersatzdämpferwicklung der Längsachse
τ'_d	Transient-Kurzschlusszeitkonstante der Längsachse
τ'_{do}	Transient-Leerlaufzeitkonstante der Längsachse
τ'_q	Transient-Kurzschlusszeitkonstante der Querachse
τ'_{qo}	Transient-Leerlaufzeitkonstante der Querachse
τ''_d	Subtransient-Kurzschlusszeitkonstante der Längsachse
τ''_{do}	Subtransient-Leerlaufzeitkonstante der Längsachse
τ''_q	Subtransient-Kurzschlusszeitkonstante der Querachse
τ''_{qo}	Subtransient-Leerlaufzeitkonstante der Querachse
τ_J	Anlaufzeitkonstante

5 Übersicht der Messverfahren

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Messverfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von Synchronmaschinen und kennzeichnet die bevorzugten Prüfungen.

Tabelle 1 – Messverfahren und Querverweise (1 von 3)

Kenngröße	Abschnitt	Prüfverfahren	Prüfung	Bevorzugt/ Fehler
Reaktanzen				
Synchron-Längsreaktanzen X_d	7.2.1	Leerlauf- und Dauerkurzschlussprüfung	6.4 und 6.5	Bevorzugt (ungesättigt)
	7.2.2	Motorbetrieb im Leerlauf	6.6	
	7.2.3	Messung des Polradwinkels unter Last	6.9	
Transient-Längsreaktanzen X'_d	7.3.1	Dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung	6.11	Bevorzugt
	7.3.2	Prüfung mit wiederkehrender Spannung	6.12	
	7.3.3	Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	6.14	
	7.3.4	Berechnung aus Messergebnissen	–	
Subtransient-Längsreaktanzen X''_d	7.4.1	Dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung	6.11	Bevorzugt
	7.4.2	Prüfung mit wiederkehrender Spannung	6.12	
	7.4.3	Prüfung mit angelegter Spannung und Läuferstellung in Längs- und Querachse	6.15	
	7.4.4	Prüfung mit angelegter Spannung und beliebiger Läuferstellung	6.16	
Synchron-Querreaktanzen X_q	7.5.1	Gegenerregungsprüfung	6.8	Bevorzugt (ungesättigt)
	7.5.2	Prüfung mit kleinem Schlupf	6.10	
	7.5.3	Messung des Polradwinkels unter Last	6.9	
Transient-Querreaktanzen X'_q	7.6.1	Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	6.14	
	7.6.2	Berechnung aus Messergebnissen	–	
Subtransient-Querreaktanzen X''_q	7.7.1	Prüfung mit angelegter Spannung und Läuferstellung in Längs- und Querachse	6.15	Bevorzugt
	7.7.2	Prüfung mit angelegter Spannung und beliebiger Läuferstellung	6.16	
Nullreaktanzen $X_{(0)}$	7.8.1	Speisung der Ankerwicklung mit einem einphasigen Spannungssystem	6.17	Bevorzugt
	7.8.2	Zweipolige Dauerkurzschlussprüfung mit Neutralleiter	6.19	
Inversreaktanzen $X_{(2)}$	7.9.1	Unsymmetrische zweipolige Dauerkurzschlussprüfung	6.18	Bevorzugt
	7.9.2	Prüfung mit gegenläufigem Drehfeld	6.20	
	7.9.3	Berechnung aus Messwerten	–	
	7.9.4	Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	6.14	
Ankerstreureaktanzen X_σ	7.10	Prüfung mit ausgebautem Läufer	6.22	
Potier-Reaktanzen X_p	7.11	Leerlauf- und Kurzschlussprüfung	6.4 und 6.5	
Widerstände				
Nullwiderstände $R_{(0)}$	7.12.1	Speisung der Ankerwicklung mit einem einphasigen Spannungssystem	6.17	Bevorzugt
	7.12.2	Zweipolige Dauerkurzschlussprüfung mit Neutralleiter	6.19	
Synchron-Widerstände $R_{(1)}$	7.13	Berechnung aus Messergebnissen	–	

Tabelle 1 (2 von 3)

Kenngröße	Abschnitt	Prüfverfahren	Prüfung	Bevorzugt/ Fehler
Inverswiderstand $R_{(2)}$	7.14.1 7.14.2	Unsymmetrische zweipolige Dauerkurzschlussprüfung Prüfung mit gegenläufigem Drehfeld	6.18 6.20	Bevorzugt
Gleichstromwiderstand der Ankerwicklung R_a	7.15	Strom-Spannungs-Messung oder Brückenschaltung	6.3	
Gleichstromwiderstand der Erregerwicklung R_f	7.15	Strom-Spannungs-Messung oder Brückenschaltung	6.3	
Zeitkonstanten				
Transient-Kurzschlusszeitkonstante der Längsachse τ'_d	7.16.1 7.16.2	Dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	6.11 6.14	Bevorzugt
Transient-Leerlaufzeitkonstante der Längsachse τ'_{do}	7.17.1 7.17.2 7.17.3 7.17.4	Feldstrom-Abklingprüfung mit offener Ankerwicklung bei Bemessungsdrehzahl Feldstrom-Abklingprüfung mit offener Ankerwicklung im Stillstand Prüfung mit wiederkehrender Spannung Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	6.21.1 6.21.2 6.12 6.14	Bevorzugt
Subtransient-Kurzschlusszeitkonstante der Längsachse τ''_d	7.18	Dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung	6.11	
Subtransient-Leerlaufzeitkonstante der Längsachse τ''_{do}	7.19.1 7.19.2	Prüfung mit wiederkehrender Spannung Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	6.12 6.14	Bevorzugt
Transient-Kurzschlusszeitkonstante der Querachse τ'_q	7.20.1 7.20.2	Berechnung aus Messergebnissen Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	– 6.14	Bevorzugt
Transient-Leerlaufzeitkonstante der Querachse τ'_{qo}	7.21.1	Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	6.14	
Subtransient-Kurzschlusszeitkonstante der Querachse τ''_q	7.22.1 7.22.2	Berechnung aus Messergebnissen Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	– 6.14	Bevorzugt
Subtransient-Leerlaufzeitkonstante der Querachse τ''_{qo}	7.23	Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	6.14	
Ankerkurzschlusszeitkonstante τ_a	7.24.1 7.24.2	Dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung Berechnung aus Messergebnissen	6.11 –	Bevorzugt
Weitere Kenngrößen				
Anlaufzeitkonstante τ_J Trägheitskonstante H	7.25	Auslaufprüfung im Leerlauf	6.23	Bevorzugt
Bemessungs-Erregerstrom i_{fN}	7.26.1 7.26.2 7.26.3 7.26.4	Direkte Messung Potier-Diagramm ASA-Diagramm Schweden-Diagramm	6.2 – – –	Bevorzugt
Erregerstrom für Anker-Bemessungsstrom im Dauerkurzschluss i_{fk}	7.27.1 7.27.2	Dreiphasige Dauerkurzschlussprüfung Übererregungsprüfung bei Leistungsfaktor Null und variabler Ankerspannung	6.5 6.26	Bevorzugt

Tabelle 1 (3 von 3)

Kenngröße	Abschnitt	Prüfverfahren	Prüfung	Bevorzugt/ Fehler
Frequenzcharakteristik	7.28.2 7.28.3 7.28.4	Asynchroner Betrieb mit reduzierter Spannung Prüfung mit einer Spannung variabler Frequenz im Stillstand Gleichstrom-Abklingprüfung der Ankerwicklung bei Stillstand	6.25 6.27 6.14	Bevorzugt
Leerlauf-Kurzschluss-verhältnis K_c	7.29	Leerlauf- und Dauerkurzschlussprüfung	6.4, 6.5	
Bemessungs-Spannungsänderung ΔU_N	7.30.1 7.30.2	Direkte Messung Grafisch mittels Leerlauf-Kurzschluss-Kennlinie und bekanntem Bemessungserregerstrom i_{fN}	6.2 6.4.2	Bevorzugt
Kurzschlussimpedanz von Synchronmotoren Z_{st}	7.31	Prüfung mit festgebremstem Läufer	6.24	

6 Prüfverfahren

6.1 Allgemeines

6.1.1 Anforderungen an die Messinstrumente

Wenn immer möglich sind digitale Messinstrumente zu verwenden.

Messgeräte und deren Zubehör, wie z. B. Messtransformatoren, Nebenwiderstände und Messbrücken, die während der Prüfung benutzt werden, müssen eine Genauigkeit haben, die mindestens der Klasse 0,5 nach IEC 60051 entspricht, falls nicht anderweitig angegeben. Die Geräte zur Bestimmung von Gleichstromwiderständen müssen eine Genauigkeit haben, die mindestens der Klasse 0,2 entspricht.

Die zur Frequenzmessung verwendeten Geräte müssen eine Genauigkeit von $\pm 0,1\%$ des Messbereichs aufweisen. Die Drehzahlmessung sollte innerhalb 0,1 Umdrehungen je Minute genau sein.

6.1.2 Anforderungen an die Erregereinrichtung

Bei Synchronmaschinen mit bürstenloser Erregung ist die Erregerwicklung über einen drehenden Umrichter, meist ein Diodengleichrichter, ohne Schleifringe direkt mit der Ankerwicklung der Erregermaschine verbunden. Daher können Prüfungen, die entweder die direkte Messung des Erregerstroms, die Speisung aus einer separaten Erregereinrichtung oder das Kurzschließen der Erregerwicklung erfordern, gegebenenfalls nur unter besonderen Voraussetzungen (beispielsweise Montage von Messschleifringen) durchgeführt werden.

6.1.3 Prüfbedingungen

Prüfungen zur Bestimmung der Kenngrößen von Synchronmaschinen müssen an komplettierten Maschinen und bei abgeschalteten automatischen Regeleinrichtungen durchgeführt werden, sofern diese nicht ausdrücklich für die Prüfung benötigt werden. Bauteile, die keinen Einfluss auf die Werte der Kenngrößen haben, brauchen nicht montiert zu sein.

Alle Prüfungen werden bei Bemessungsdrehzahl durchgeführt, sofern nicht anders angegeben.

ANMERKUNG Prüfverfahren, die im Stillstand durchgeführt werden, können andere Ergebnisse liefern als Messungen, die an der drehenden Maschine erfolgen. Dies tritt beispielsweise dann auf, wenn die Parameter der Dämpferwicklung durch die Zentrifugalkräfte beeinflusst werden.

Die Wicklungstemperaturen werden während der Prüfung gemessen, wenn

- die zu bestimmenden Größen von der Temperatur abhängen; oder
- es die Sicherheit der Maschine erfordert.

Falls die Gefahr besteht, dass der zeitliche Temperaturverlauf vorübergehend die Grenzwerte überschreitet, wird empfohlen, die Prüfungen nur nach dem Leerlaufbetrieb mit normaler Kühlung durchzuführen oder nach einer Stillstandszeit, die lang genug sein muss, um genügend niedrige Anfangstemperaturen sicherzustellen. Ferner sollten in derartigen Fällen die Temperaturen sorgfältig überwacht oder vorausbestimmt werden, so dass die Prüfung abgebrochen werden kann, bevor die Temperaturen gefährliche Werte erreichen.

In der Regel sollte während der Prüfung die Schaltung der Wicklung in betriebsmäßigem Zustand sein.

Die Bestimmung sämtlicher Kenngrößen gilt für Sternschaltung der Ankerwicklung (falls nicht besondere Schaltungen, wie z. B. eine offene Dreieckschaltung, spezifiziert sind). Falls die Ankerwicklung betriebsmäßig in Dreieck geschaltet ist, gelten die nach dem hier vorliegenden Dokument ermittelten Werte der Kenngrößen für eine äquivalente Sternschaltung.

6.1.4 Bezugsgrößen

Alle Gleichungen geben entweder physikalische Größen in SI-Einheiten oder per-unit-Werte an, die auf ihre jeweiligen Bezugsgrößen bezogen sind. Die Bezugsgrößen sind im Allgemeinen die Bemessungsspannung U_N und die Bemessungsscheinleistung S_N . Daraus ergeben sich als abgeleitete Bezugsgrößen der Bemessungsstrom

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N}$$

und die Bemessungsimpedanz

$$Z_N = \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{S_N}{3I_N^2}$$

Zwischenrechnungen können in physikalischen Größen durchgeführt werden mit anschließender Umrechnung in die per-unit-Werte. Es wird empfohlen, die Zeit in Sekunden auszudrücken. Bei der Berechnung von Kennlinien und beim Zeichnen von Diagrammen wird als Bezugswert des Erregerstromes derjenige Erregerstrom gewählt, der sich aus der Leerlauf-Kennlinie bei Bemessungsspannung ergibt. Wenn Diagramme und Kennlinien dargestellt werden, können Strom- und Spannungswerte auch in physikalischen Größen angegeben werden.

Bei Maschinen mit mehreren verschiedenen Bemessungspunkten ist der als Basis für die Bezugsgrößen gewählte Bemessungspunkt anzugeben.

Falls nicht anderweitig angegeben, gilt in diesem Dokument das oben angegebene System. Dabei werden die per-unit-Werte durch kleine Buchstaben und die Absolutwerte durch große Buchstaben gekennzeichnet.

Sofern nicht anderweitig angegeben, wird bei den in diesem Dokument angegebenen Beziehungen zur Bestimmung von Synchron-Reaktanzen der Synchron-Widerstand der Ankerwicklung als vernachlässigbar angenommen. Falls der Synchron-Widerstand der Ankerwicklung mehr als das 0,2-Fache der gemessenen Reaktanz ausmacht, müssen die betreffenden Formeln als Näherungen angesehen werden.

6.1.5 Vereinbarungen und Annahmen

Die Definitionen der meisten Kenngrößen und die Prüfungen zu ihrer Bestimmung werden in diesem Dokument entsprechend der weithin als gültig angesehenen Zweiachsentheorie der Synchronmaschine vorgenommen. Dabei werden alle Wicklungen angenähert dargestellt durch Ersatzwicklungen in zwei Achsen, die starr mit der Feldwicklung verbunden sind, wobei die Ersatzwicklungen entweder in der d-Achse (Längsachse) oder in der q-Achse (Querachse) angeordnet zu denken sind. Ferner wird der Wirkwiderstand der Ankerwicklung vernachlässigt oder nur näherungsweise berücksichtigt.

Als Folge dieser näherungsweisen Betrachtung der Maschine werden in diesem Dokument drei Reaktanzen (Synchronreaktanzen, Transient- und Subtransientreaktanzen) und zwei Zeitkonstanten (Transient-Zeitkonstante

und Subtransient-Zeitkonstante) in der Längsachse und zwei Reaktanzen (Synchron- und Subtransientreaktanz) und eine Zeitkonstante (Subtransient-Zeitkonstante) in der Querachse bei der Behandlung transienter Vorgänge berücksichtigt. Darüber hinaus wird die Kurzschluss-Zeitkonstante der Ankerwicklung einbezogen.

Diese Zeitkonstanten beruhen auf der Annahme eines exponentiellen Abklingens der auftretenden einzelnen Komponenten von Strömen, Spannungen usw. Falls die Zeitfunktion einer gemessenen Größe nicht als reine Exponentialfunktion abklingt, wie z. B. im Fall einer Maschine mit Massivläufer, so ist die Zeitkonstante üblicherweise definiert werden als diejenige Zeitspanne, in der die betreffende Größe auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abgeklungen ist. Exponentiell abklingende Kurven mit diesen Zeitkonstanten müssen als Ersatzfunktionen für die tatsächlich gemessenen Verläufe angesehen werden.

Häufig ist die konventionelle Darstellung durch drei Reaktanzen und zwei Zeitkonstanten nicht ausreichend, um die Maschine zufriedenstellend zu beschreiben. Dies trifft beispielsweise auf Maschinen mit Turboläufern zu, bei denen das Modell durch die Parameter X''_d , τ''_d erweitert werden kann. Die Bestimmung dieser zusätzlichen Parameter kann in Anlehnung an die in dieser Norm beschriebenen Verfahren erfolgen (siehe [Anhang B](#)).

ANMERKUNG Diese Norm beschreibt Verfahren zur Bestimmung der transienten Parameter der Querachse X'_q , τ'_q , τ'_{q0} (siehe [6.14](#)), obwohl diese häufig in konventionellen Rechnungen nicht berücksichtigt werden, wo $X'_q = X_q$ angenommen wird.

6.1.6 Berücksichtigung von Sättigungserscheinungen

Die Kenngrößen von Synchronmaschinen ändern sich mit der Sättigung des magnetischen Kreises. In der Praxis werden sowohl gesättigte als auch ungesättigte Werte benutzt.

Falls nicht ausdrücklich anders vermerkt, entsprechen in diesem Dokument die „gesättigten Werte“ der Reaktanzen und Widerstände den Werten bei Bemessungs(anker)speisung, während die zugehörigen „ungesättigten Werte“ den Werten bei Bemessungs(anker)strom entsprechen. Ausgenommen sind hiervon die synchronen Reaktanzen, bei denen die Werte bei kleinen Spannungen als ungesättigt und die Werte bei Bemessungsspeisung unter Last als gesättigte Werte aufgefasst werden. Die gesättigten Werte der Kenngrößen hängen ferner von der Betriebsart der Maschine ab.

Der Bemessungs(anker)speisungswert einer Kenngröße (ausgenommen Synchronreaktanzen) entspricht den magnetischen Verhältnissen der Maschine bei einem Stoßkurzschluss der Ankerwicklung aus Bemessungsspeisung im Leerlauf, wobei die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft.

Der Bemessungs(anker)stromwert einer Kenngröße entspricht demjenigen Zustand der Maschine, bei dem die Grundschwingung des Strangstroms, der die betreffende Kenngröße bestimmt, gleich dem Bemessungsstrom ist.

Leerlauf- und Kurzschlussprüfung dienen üblicherweise der Bestimmung des ungesättigten Werts der Synchron-Längsreaktanz X_d . Die Prüfung „Motorbetrieb im Leerlauf“ erlaubt die Bestimmung der ungesättigten und gesättigten Werte von X_d . Die gesättigten Werte, die mit dieser Prüfung bestimmt werden, sind aber nicht für jeden Betriebspunkt der Maschine gültig und können nur zum Vergleich mit anderen Maschinen herangezogen werden, die nach demselben Verfahren geprüft wurden.

Die Gegenregungsprüfung und die Prüfung mit kleinem Schlupf werden für die Ermittlung von ungesättigten Werten verwendet.

Die dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung erlaubt die Bestimmung der ungesättigten und gesättigten Werte von X'_d . Es ist die bevorzugte Methode.

Die dreiphasige Stoßkurzschlussprüfung und die Feldstrom-Abklingprüfung bei Bemessungsdrehzahl können zur Bestimmung von τ'_{d0} und τ'_d an einer bürstenlos erregten Maschine durchgeführt werden. Dabei wird die Maschine durch ihre eigene Erregermaschine oder über Hilfsschleifringe und eine separate Erreger-einrichtung gespeist. Die Erregermaschine muss in beiden Fällen fremderregt werden. Die Prüfung mit