

	Drehende elektrische Maschinen Teil 4: Verfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von Synchronmaschinen durch Messungen (IEC 60034-4:1985, modifiziert) Deutsche Fassung EN 60034-4:1995	DIN EN 60034-4
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.	Klassifikation VDE 0530 Teil 4
ICS 29.160.01 Deskriptoren: elektrische Maschine, Synchronmaschine, Kenngröße, Meßverfahren Rotating electrical machines – Part 4: Methods for determining synchronous machine quantities from tests (IEC 60034-4:1985, modified); German version EN 60034-4:1995 Machines électriques tournantes – Partie 4: Méthodes pour la détermination à partir d'essais des grandeurs des machines synchrones (CEI 60034-4:1985, modifiée); Version allemande EN 60034-4:1995 Die Europäische Norm EN 60034-4:1995 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 60034-4 wurde am 1995-05-15 angenommen. Kurzverfahren war angekündigt in etz Heft 18/1995 und DIN-Mitteilungen Heft 10.95 Fortsetzung Seite 2 und 35 Seiten EN Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)		

Nationales Vorwort

Für die vorliegende Norm ist das K 311 „Drehende elektrische Maschinen“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) zuständig.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben.

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.

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60051	IEC 60051	Normen der Reihe DIN IEC 60051	–

Änderungen

Gegenüber **DIN VDE 0530-4 (VDE 0530 Teil 4):1989-09** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Übernahme der EN 60034-4:1995.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0530-4 (VDE 0530 Teil 4):1966-10

DIN VDE 0530-4 (VDE 0530 Teil 4):1989-09

Nationaler Anhang NA

Literaturhinweise in nationalen Zusätzen

DIN IEC 60051 Direkt wirkende elektrische Meßgeräte mit analoger Anzeige und ihr Zubehör

Internationale Patentklassifikation

G 01 R 17/00

G 01 R 19/00

G 01 R 27/02

G 01 R 31/00

H 02 K 19/00

Deutsche Fassung

Drehende elektrische Maschinen

Teil 4: Verfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von Synchronmaschinen durch Messungen
(IEC 60034-4:1985, modifiziert)

Rotating electrical machines
Part 4: Methods for determining synchronous
machine quantities from tests
(IEC 60034-4:1985, modified)

Machines électriques tournantes
Partie 4: Méthodes pour la détermination à partir
d'essais des grandeurs des machines synchrones
(CEI 60034-4:1985, modifiée)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1995-05-15 angenommen.

Die 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text der Internationalen Norm IEC 60034-4:1985, ausgearbeitet von dem SC 2G „Test methods and procedures“ des IEC/TC 2 „Rotating machinery“, wurde zusammen mit den von dem Technischen Komitee CENELEC/TC 2 „Drehende elektrische Maschinen“ ausgearbeiteten gemeinsamen Abänderungen von CENELEC am 1988-06-28 als HD 53.4 S2 angenommen.

Dieses Harmonisierungsdokument wurde zur Umwandlung in eine Europäische Norm der formellen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1995-05-15 als EN 60034-4 angenommen.

Nachstehendes Datum wurde festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muß

(dop): 1996-07-15

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

In dieser Norm ist Anhang ZA normativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60034-4:1985 wurde von CENELEC als Europäische Norm mit vereinbarten, gemeinsamen Abänderungen angenommen, die nachstehend angegeben sind.

GEMEINSAME ABÄNDERUNGEN

48 Unsymmetrischer zweipoliger Dauerkurzschluß

Die Bilder 13 und 14 wurden vertauscht.

54 Dauerkurzschlußversuch mit zwei untereinander und mit dem Sternpunkt kurzgeschlossenen Wicklungssträngen

Die Bilder 13 und 14 wurden vertauscht.

55 Bestimmung von Kenngrößen aus dem Dauerkurzschlußversuch mit zwei untereinander und mit dem Sternpunkt kurzgeschlossenen Wicklungssträngen

In der Formel ersetze den Faktor „3“ durch den Faktor „ $\sqrt{3}$ “, so daß man die Formel wie folgt lesen kann:

$$X_0 = \frac{U_0}{I_0} \Omega; \quad \left[x_0 = \frac{\sqrt{3} u_0}{i_0} \right]$$

Streiche Anhang A: Nichtabgestimmte Verfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von Synchronmaschinen durch Messungen.

Inhalt

	Seite
Hauptabschnitt eins – Anwendungsbereich und Zweck	5
1 Anwendungsbereich	5
2 Zweck	5
Hauptabschnitt zwei – Allgemeines	5
3 Allgemeines	5
Hauptabschnitt drei – Begriffe und Verfahren zur Bestimmung der Kenngrößen	7
4 Synchron-Längsreaktanz (kurz Synchronreaktanz) X_d	7
5 Leerlauf-Kurzschluß-Verhältnis K_c	7
6 Synchron-Querreaktanz (kurz Querreaktanz) X_q	7
7 Transient-Längsreaktanz X'_d	7
8 Subtransient-Längsreaktanz (Anfangsreaktanz, kurz Subtransient-Reaktanz) X''_d	7
9 Subtransient-Querreaktanz X''_q	8
10 Invers-Reaktanz X_2	8
11 Invers-Widerstand R_2	8
12 Nullreaktanz X_0	8
13 Nullwiderstand R_0	8
14 Potier-Reaktanz X_p	9
15 Gleichstromwiderstände R_a und R_f der Ankerwicklung und der Erregerwicklung	9
16 Synchron-Widerstand R_1	9
17 Transient-Leerlaufzeitkonstante (der Längsachse) τ'_{do}	9
18 Transient-Kurzschlußzeitkonstante (der Längsachse) τ'_d	9
19 Subtransient-Kurzschlußzeitkonstante (der Längsachse) τ''_d	9
20 Anker-Kurzschlußzeitkonstante τ_a (Gleichstrom-Zeitkonstante)	10
21 Bemessungs-Anlaufzeit τ_j	10
22 Trägheitskonstante H	10
23 Bemessungs-Erregerstrom I_{fN}	10
24 Bemessungs-Spannungsänderung ΔU_N	10
Hauptabschnitt vier – Beschreibung der Versuche und Bestimmung der Maschinen-Kenngrößen aus den Versuchsergebnissen	11
25 Leerlaufversuch	11
26 Dreiphasiger Dauerkurzschlußversuch	11
27 Ermittlung von Kenngrößen aus dem Leerlauf- und Dauerkurzschlußversuch	12
28 Übererregungsversuch beim Leistungsfaktor Null	12
29 Bestimmung des Erregerstromes für Anker-Bemessungsspannung und Anker-Bemessungsstrom bei Leistungsfaktor Null (übererregt)	13
30 Bestimmung der Potier-Reaktanz aus der Leerlaufkennlinie, der Kurzschlußkennlinie und dem Erregerstrom für Bemessungsspannung und Bemessungsstrom bei Leistungsfaktor Null (übererregt)	13
31 Bestimmung des Bemessungs-Erregerstromes aus dem Potier-Diagramm	14
32 Bestimmung des Bemessungs-Erregerstromes aus dem ASA-Diagramm	15
33 Bestimmung des Bemessungs-Erregerstromes aus dem Schweden-Diagramm	16
34 Gegenerregungsversuch	17
35 Bestimmung von X_q aus dem Gegenerregungsversuch	17
36 Versuch mit kleinem Schlupf	17
37 Bestimmung von X_q aus dem Versuch mit kleinem Schlupf	18
38 Bestimmung des Lastwinkels δ im Lastbetrieb	19
39 Bestimmung von X_q aus der Messung des Lastwinkels im Lastbetrieb	19
40 Dreiphasiger Stoßkurzschluß	19
41 Bestimmung von Kenngrößen aus dem Stoßkurzschlußversuch	21
42 Versuch mit wiederkehrender Spannung	22
43 Bestimmung von Kenngrößen aus dem Versuch mit wiederkehrender Spannung	23

44	Versuch mit angelegter Spannung bei Läuferstellung in Längs- und Querachse	23
45	Bestimmung von Kenngrößen aus dem Versuch mit angelegter Spannung bei Läuferstellung in Längs- und Querachse	24
46	Versuch mit angelegter Spannung und beliebiger Winkelstellung des Läufers	24
47	Bestimmung von Kenngrößen aus dem Versuch mit angelegter Spannung bei beliebiger Winkelstellung des Läufers	24
48	Unsymmetrischer zweipoliger Dauerkurzschluß	25
49	Bestimmung von Kenngrößen aus dem unsymmetrischen zweipoligen Dauerkurzschlußversuch	25
50	Versuch mit gegenläufigem Drehfeld	26
51	Bestimmung von Kenngrößen aus dem Versuch mit gegenläufigem Drehfeld	26
52	Versuch mit Einphasen-Spannung an den drei Wicklungssträngen	26
53	Bestimmung von Kenngrößen aus dem Versuch mit Einphasen-Spannung an den drei Wicklungssträngen	26
54	Dauerkurzschlußversuch mit zwei untereinander und mit dem Sternpunkt kurzgeschlossenen Wicklungssträngen	27
55	Bestimmung von Kenngrößen aus dem Dauerkurzschlußversuch mit zwei untereinander und mit dem Sternpunkt kurzgeschlossenen Wicklungssträngen	27
56	Bestimmung des Gleichstrom-Widerstandes durch Spannungs- und Strommessung und durch Brückenmessung	28
57	Bestimmung des Gleichstrom-Widerstandes der Wicklungen aus der Messung mit Spannungs- und Strommesser sowie mit dem Brückenverfahren	28
58	Feldstrom-Abklingversuch bei offener Ankerwicklung	29
59	Bestimmung von τ'_{do} aus dem Feldstrom-Abklingversuch bei offener Ankerwicklung	29
60	Feldstrom-Abklingversuch mit kurzgeschlossener Ankerwicklung	29
61	Bestimmung von τ'_d aus dem Feldstrom-Abklingversuch bei kurzgeschlossener Ankerwicklung	29
62	Schwingungsversuch mit aufgehängtem Läufer	29
63	Bestimmung von τ_j und H aus dem Schwingungsversuch mit aufgehängtem Läufer	30
64	Versuch mit Hilfsspendel	30
65	Bestimmung von τ'_j und H aus dem Versuch mit Hilfsspendel	30
66	Auslaufversuch im Leerlauf	31
67	Bestimmung von τ_j und H aus dem Auslaufversuch im Leerlauf	31
68	Auslaufversuch im Motorbetrieb unter Last	31
69	Bestimmung von τ_j und H aus dem Auslaufversuch im Motorbetrieb unter Last	31
70	Drehzahlanstieg nach Lastabwurf im Generatorbetrieb	31
71	Bestimmung von τ_j und H aus dem Lastabwurf im Generatorbetrieb	32
72	Rechnerische Bestimmung von Kenngrößen anhand von gemessenen Kenngrößen	32
Tabelle 1 Kenngrößen und Prüfverfahren, Übersicht		33
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen		35

Hauptabschnitt eins – Anwendungsbereich und Zweck

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für dreiphasige Synchronmaschinen mit einer Bemessungs-Scheinleistung von 1 kVA und größer und Bemessungsfrequenzen nicht über 400 Hz und nicht unter 15 Hz.

Die angegebenen Prüfverfahren gelten nicht für Sonderausführungen von Synchronmaschinen, wie z. B. Maschinen mit Permanentmagnet-Erregung, Induktormaschinen usw.

Die Versuche gelten im allgemeinen auch für bürstenlose Maschinen, jedoch bestehen hier gewisse Abweichungen, und es sind besondere Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

2 Zweck

Zweck dieser Norm ist es, Verfahren zusammenzustellen zur Bestimmung von Kenngrößen von dreiphasigen Synchronmaschinen anhand von Versuchen.

Diese Norm bedeutet nicht, daß einige oder alle beschriebenen Versuche an einer bestimmten Maschine durchzuführen sind, vielmehr sind die jeweils durchzuführenden Versuche zwischen Hersteller und Betreiber besonders zu vereinbaren.

Hauptabschnitt zwei – Allgemeines

3 Allgemeines

Versuche zur Bestimmung von Kenngrößen von Synchronmaschinen sollen an vollständig intakten Maschinen und bei abgeschalteten automatischen Regeleinrichtungen durchgeführt werden.

Alle Versuche werden bei Bemessungsdrehzahl durchgeführt, falls nicht ausdrücklich anders vermerkt.

3.1 Anzeigende Meßgeräte und deren Zubehör, wie z. B. Meßtransformatoren, Nebenwiderstände und Meßbrücken, welche während des Versuches benutzt werden, sollen eine Genauigkeit haben, die mindestens der Klasse 1,0 entspricht, falls nicht ausdrücklich anders vermerkt (vergleiche dazu IEC 60051: Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories). Die Geräte zur Bestimmung von Gleichstromwiderständen sollen eine Genauigkeit haben, welche mindestens der Klasse 0,5 entspricht.

Es ist nicht der Zweck dieser Norm, Genauigkeitsklassen für die verwendeten Oszillographen und ihr Zubehör anzugeben. Die genannten Geräte sollten jedoch so gewählt werden, daß sich über den gesamten benötigten Frequenzbereich lineares Amplitudenverhalten ergibt.

Die Drehzahl von Synchronmaschinen kann entweder stroboskopisch oder mit mechanischen oder elektrischen Tachometern gemessen werden.

Es ist zulässig, anstelle der Drehzahl die Frequenz zu messen mit Hilfe eines Frequenzmessers, wobei die Maschine allein oder mit beliebigen anderen Synchronmaschinen parallel laufen kann.

3.2 Wenn die zu bestimmenden Kenngrößen temperaturabhängig sind oder wenn es die Sicherheit der Maschine erfordert, muß die Wicklungstemperatur gemessen werden.

Falls die Gefahr besteht, daß der zeitliche Temperaturverlauf vorübergehend die Sicherheit der Maschine gefährdet, wird empfohlen, die Versuche nur nach dem Leerlaufbetrieb mit normaler Kühlung durchzuführen oder nach einer Stillstandszeit, welche lang genug sein muß, um genügend niedrige Anfangstemperaturen zu gewährleisten. Ferner sollen in derartigen Fällen die Temperaturen sorgfältig überwacht oder vorausbestimmt werden, so daß der Versuch abgebrochen werden kann, bevor die Temperaturen gefährliche Werte erreichen.

3.3 In der Regel sollen während des Versuches die Wicklungsverbindungen in betriebsmäßigem Zustand sein.

Die Bestimmung sämtlicher Kenngrößen gilt für Sternschaltung der Ankerwicklung, mit Ausnahme derjenigen Fälle, in denen besondere Schaltungen, z. B. offene Dreieckschaltung, angewendet werden müssen. Falls die Ankerwicklung betriebsmäßig in Dreieck geschaltet ist, gelten die nach der hier vorliegenden Norm ermittelten Werte der Kenngrößen für eine äquivalente Sternschaltung.

3.4 Alle Kenngrößen und Kennlinien sollen in per-unit (p.u.)-Werten angegeben werden, wobei als Bezugswerte die Bemessungsspannung U_N und die Bemessungs-Scheinleistung S_N gelten. Für diesen Fall lautet die Beziehung für den Bemessungsstrom:

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

und für die Bemessungsimpedanz:

$$Z_N = \frac{U_N^2}{S_N} = \left[\frac{S_N}{3 I_N^2} \right] \Omega$$

Falls es bequem ist, können Zwischenrechnungen in physikalischen Größen (Absolutwerten) durchgeführt werden mit anschließender Umrechnung in die per-unit-Werte (Relativwerte). Es wird empfohlen, die Zeit in s auszudrücken. Bei der Berechnung von Kennlinien und beim Zeichnen von Schaubildern wird als Bezugswert des Erregerstromes derjenige Erregerstrom gewählt, welcher sich auf der Leerlauf-Kennlinie bei Bemessungsspannung ergibt.

Falls eine Maschine mehrere verschiedene Bemessungs-Betriebsarten hat, sollte eine davon in geeigneter Weise als grundlegend gewählt werden.

Falls nicht ausdrücklich anders vermerkt, gilt in dieser Norm das oben angegebene System. Dabei werden die Relativwerte durch kleine Buchstaben und die Absolutwerte durch große Buchstaben gekennzeichnet.

3.5 In den Formeln zur Bestimmung von Reaktanzen der Synchronmaschine, welche in dieser Norm verwendet werden, wird der Wirkwiderstand des Mitsystems der Ankerwicklung vernachlässigt, falls nicht ausdrücklich anders vermerkt.

Falls der Wirkwiderstand des Mitsystems der Ankerwicklung mehr als das 0,2fache der gemessenen Reaktanz ausmacht, müssen die betreffenden Formeln als Näherungen angesehen werden.

3.6 Die Definitionen der meisten Kenngrößen und die Versuche zu ihrer Bestimmung werden in dieser Norm entsprechend der weithin als gültig angesehenen Zweiachsentheorie der Synchronmaschine vorgenommen. Dabei werden alle Wicklungen angenähert dargestellt durch Ersatzwicklungen in zwei Achsen, welche 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 dieser Norm drei Reaktanzen (Synchronreaktanz, Transientreaktanz und Subtransientreaktanz) und zwei Zeitkonstanten (Transient-Zeitkonstante und Subtransient-Zeitkonstante) in der Längsachse und zwei Reaktanzen (Synchronreaktanz und Subtransientreaktanz) und eine Zeitkonstante (Subtransient-Zeitkonstante) in der Querachse bei der Behandlung transienter Vorgänge berücksichtigt, darüber hinaus die Kurzschluß-Zeitkonstante der Ankerwicklung.

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

3.7 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 dieser Norm die „gesättigten Werte“ von Reaktanzen und Widerständen der Messung bei Bemessungs-Strangspannung, während die zugehörigen „ungesättigten Werte“ der Messung bei Bemessungs-Strangstrom entsprechen. Eine Ausnahme bildet die Synchronreaktanz, welche nicht als gesättigt definiert ist.

Der Bemessungsspannungswert einer Kenngröße entspricht den magnetischen Verhältnissen der Maschine bei einem Stoßkurzschluß der Ankerwicklung bei Bemessungsspannung im Leerlauf, wobei die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft.

Der Bemessungsstromwert einer Kenngröße entspricht demjenigen Zustand der Maschine, bei dem die Grundschwingung des Strangstromes, welcher die betreffende Kenngröße bestimmt, gleich dem Bemessungsstrom ist.

Hauptabschnitt drei – Begriffe und Verfahren zur Bestimmung der Kenngrößen

4 Synchron-Längsreaktanz (kurz Synchronreaktanz) X_d

X_d ist der Quotient aus dem eingeschwungenen Wert derjenigen Grundschrwingungskomponente der Strangspannung, welche durch den gesamten Ankerfluß der Längsachse infolge des Anker-Längsstromes erzeugt wird (Querspannung), und dem Grundschrwingungswert dieses Stromes (Längsstromes) bei Bemessungsdrehzahl.

4.1 Die ungesättigte Synchron-Längsreaktanz X_d wird aus der Leerlaufkennlinie (siehe [Unterabschnitt 25.1](#)) und der Kurzschlußkennlinie (siehe [Unterabschnitt 26.1](#)) bestimmt (siehe [Abschnitt 27](#)).

5 Leerlauf-Kurzschluß-Verhältnis K_c

K_c ist das Verhältnis des Leerlauf-Erregerstromes bei Bemessungsspannung zum Erregerstrom für den symmetrischen Kurzschluß-Bemessungsstrom. Beide Werte gelten für Bemessungsdrehzahl.

5.1 Das Leerlauf-Kurzschluß-Verhältnis wird aus der Leerlaufkennlinie (siehe [Unterabschnitt 25.1](#)) und der Kurzschlußkennlinie (siehe [Unterabschnitt 26.1](#)) bestimmt (siehe [Unterabschnitt 27.1](#)).

6 Synchron-Querreaktanz (kurz Querreaktanz) X_q

X_q ist der Quotient aus dem eingeschwungenen Wert derjenigen Grundschrwingungskomponente der Strangspannung, welche durch den gesamten Ankerfluß in der Querachse infolge des Anker-Querstromes erzeugt wird (Längsspannung), und dem Grundschrwingungswert dieses Stromes (Querstromes) bei Bemessungsdrehzahl.

6.1 Die Synchron-Querreaktanz wird durch folgende Verfahren ermittelt:

- Gegenerrregung (siehe [Abschnitte 34 und 35](#));
- Schlupfversuch (siehe [Abschnitte 36 und 37](#));
- Messung des Lastwinkels der belasteten Maschine (siehe [Abschnitte 38 und 39](#)).

Die zuerst genannten beiden Verfahren werden bevorzugt.

7 Transient-Längsreaktanz X'_d

X'_d ist der Quotient aus dem Anfangswert einer plötzlichen Änderung derjenigen Grundschrwingungskomponente der Strangspannung, welche durch den gesamten Ankerfluß in der Längsachse erzeugt wird (Querspannung), und dem Wert der gleichzeitigen Änderung des Anker-Längsstromes bei Bemessungsdrehzahl. Dabei werden die rasch abklingenden Anteile während der ersten Perioden nicht berücksichtigt.

7.1 Die Transient-Längsreaktanz wird durch folgende Verfahren ermittelt:

- dreiphasiger Stoßkurzschluß (siehe [Abschnitte 40 und 41](#));
- wiederkehrende Spannung (siehe [Abschnitte 42 und 43](#));
- rechnerische Bestimmung aus den Prüfwerten von X_d (siehe [Abschnitt 4](#)), τ'_{do} (siehe [Abschnitt 17](#)) und τ'_d (siehe [Abschnitt 18](#)) anhand der Formel des [Abschnittes 72](#).

Der dreiphasige Stoßkurzschluß wird bevorzugt. Er gestattet die Ermittlung der gesättigten und ungesättigten Werte von X'_d .

8 Subtransient-Längsreaktanz (Anfangsreaktanz, kurz Subtransient-Reaktanz) X''_d

X''_d ist der Quotient aus dem Anfangswert einer plötzlichen Änderung derjenigen Grundschrwingungskomponente der Strangspannung, welche durch den gesamten Ankerfluß der Längsachse erzeugt wird (Querspannung), und dem Wert der gleichzeitigen Änderung der Grundschrwingungskomponente des Anker-Längsstromes bei Bemessungsdrehzahl.

8.1 Die Subtransient-Längsreaktanz wird durch folgende Verfahren ermittelt:

- dreiphasiger Stoßkurzschluß (siehe [Abschnitt 40](#) und [Unterabschnitt 41.1](#));
- wiederkehrende Spannung (siehe [Abschnitt 42](#) und [Unterabschnitt 43.1](#));
- Anlegen einer Spannung bei Längs- und Querstellung des Läufers relativ zur Achse des Ankerfeldes (siehe [Abschnitte 44 und 45](#));
- Anlegen einer Spannung bei beliebiger Lage der Polachse (siehe [Abschnitte 46 und 47](#)).

Der dreiphasige Stoßkurzschluß wird bevorzugt. Er ermöglicht die Bestimmung des gesättigten und ungesättigten Wertes von X''_d .

Die Verfahren mit angelegter Spannung (c und d) dürfen zur Bestimmung des ungesättigten Wertes von X''_d verwendet werden. Für die Bestimmung des gesättigten Wertes sind sie im allgemeinen nicht zweckmäßig wegen des benötigten hohen Stromes und der Gefahr der Überhitzung massiver Teile.

9 Subtransient-Querreaktanzen X_q''

X_q'' ist der Quotient aus dem Anfangswert einer plötzlichen Änderung der Grundschwingungskomponente derjenigen Strangspannung, welche durch den gesamten Ankerfluß der Querachse induziert wird (Längsspannung), und dem Wert der gleichzeitigen Änderung der Grundschwingungskomponente des Anker-Querstromes bei Bemessungsdrehzahl.

9.1 Die Subtransient-Querreaktanzen werden durch folgende Verfahren ermittelt:

- Anlegen einer Spannung bei Längs- und Querstellung des Läufers relativ zur Achse der Ankerwicklung (siehe [Abschnitt 44](#) und [Unterabschnitt 45.1](#));
- Anlegen einer Spannung bei beliebiger Stellung der Polachse (siehe [Abschnitt 46](#) und [Unterabschnitt 47.1](#)).

Diese beiden Verfahren sind praktisch gleichwertig und können zur Bestimmung des ungesättigten Wertes benutzt werden. Sie sind im allgemeinen nicht zweckmäßig für die Bestimmung des gesättigten Wertes wegen der benötigten hohen Ströme und möglicher Überhitzung von Massivteilen.

10 Invers-Reaktanz X_2

X_2 ist der Quotient aus der Grundschwingungs-Blindkomponente einer inversen Ankerspannung infolge eines sinusförmigen inversen Ankerstromes mit Bemessungsfrequenz und dem Wert dieses Stromes bei Bemessungsdrehzahl.

ANMERKUNG: Der Wert von X_2 kann vom oben definierten abweichen, falls man von der Grundschwingungskomponente eines Inversstromes ausgeht, welcher Oberschwingungen enthält. Jedoch gilt als richtiger Wert von X_2 derjenige, welcher mit sinusförmigem Gegenstrom ermittelt wird.

11 Invers-Widerstand R_2

R_2 ist der Quotient aus dem Wirkanteil der Grundschwingungskomponente der inversen Ankerspannung bei sinusförmigem inversem Ankerstrom mit Bemessungsfrequenz und dem Wert dieses Stromes bei Bemessungsdrehzahl.

ANMERKUNG: Der Wert von R_2 kann vom oben definierten abweichen, falls die Grundschwingung eines überschwingungshaltigen Inversstromes benutzt wird.

11.1 Die Invers-Reaktanz und der Invers-Widerstand werden durch folgende Verfahren ermittelt:

- einphasig-zweisträngiger Dauerkurzschluß (siehe [Abschnitte 48, 49](#) und [Unterabschnitt 49.1](#));
- gegenläufiges Drehfeld (siehe [Abschnitte 50](#) und [51](#)).
- Die Invers-Reaktanz kann auch rechnerisch bestimmt werden anhand der Meßwerte von X_q'' (siehe [Abschnitt 8](#)) und X_q'' (siehe [Abschnitt 9](#)); die Berechnung wird mit der Formel des [Unterabschnittes 72.1](#) durchgeführt.

Der zweisträngige Dauerkurzschluß wird bevorzugt.

12 Nullreaktanzen X_0

X_0 ist der Quotient der Grundschwingungs-Blindkomponente einer Nullspannung in der Ankerwicklung infolge einer entsprechenden Grundschwingung eines Nullstromes mit Bemessungsfrequenz und dieser Komponente des Stromes bei Bemessungsdrehzahl.

13 Nullwiderstand R_0

R_0 ist der Quotient aus der Grundschwingungs-Wirkkomponente einer Nullspannung in der Ankerwicklung infolge der Grundschwingung eines Nullstromes mit Bemessungsfrequenz und dieser Komponente des Stromes bei Bemessungsdrehzahl.

13.1 Nullreaktanzen und Nullwiderstand werden durch folgende Verfahren ermittelt:

- Anlegen einer einphasigen Spannung an die drei in Reihe (offene Dreieckschaltung) oder parallelgeschalteten Wicklungsstränge (siehe [Abschnitte 52](#) und [53](#));
- zweisträngiger und einsträngiger Dauerkurzschluß (siehe [Abschnitte 54, 55](#) und [Unterabschnitt 55.1](#)).

Das Verfahren mit Einphasen-Wechselspannung an den drei in Reihe geschalteten Wicklungssträngen wird bevorzugt.

14 Potier-Reaktanz X_p

X_p ist eine äquivalente Reaktanz, die zur Berechnung des Lasterregerstromes nach dem Potier-Verfahren anstelle der Anker-Streureaktanz eingesetzt wird. Hierdurch wird der zusätzliche Streufluß der Feldwicklung bei Last und im Gebiet der Übererregung berücksichtigt. X_p ist größer als die eigentliche Anker-Streureaktanz.

14.1 Die Potier-Reaktanz wird ermittelt nach [Abschnitt 30](#).

15 Gleichstromwiderstände R_a und R_f der Ankerwicklung und der Erregerwicklung

Der Gleichstromwiderstand wird nach dem folgenden Verfahren ermittelt:

- Spannungs- und Strommessung (siehe [Abschnitte 56](#) und [57](#));
- Einfach-Meßbrücke und Doppel-Meßbrücke (siehe [Abschnitt 56](#) und [Unterabschnitt 57.1](#)).

Die Messung mit der Einfach-Meßbrücke ist für Widerstände unter $1\ \Omega$ nicht zulässig.

16 Synchron-Widerstand R_1

R_1 ist der Quotient aus dem Wirkanteil der Ankerspannung des Mitsystems aufgrund der ohmschen Verluste und der Zusatzverluste, welche durch die Grundsatzkomponente des mittläufigen Ankerstromes erzeugt werden, und dieser Stromkomponente bei Bemessungsdrehzahl.

16.1 Der Synchron-Widerstand wird ermittelt nach [Unterabschnitt 72.2](#).

17 Transient-Leerlaufzeitkonstante (der Längsachse) τ'_{do}

τ'_{do} ist diejenige Zeit, welche die durch den Längsfluß erregte, langsam veränderliche Komponente der Ankerspannung (Querspannung) benötigt, um bei einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abzuklingen, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft.

17.1 Die Transient-Leerlaufzeitkonstante wird durch folgende Verfahren ermittelt:

- Abklingen des Feldstromes bei leerlaufender Ankerwicklung (siehe [Abschnitte 58](#) und [59](#));
- wiederkehrende Spannung (siehe [Abschnitt 42](#) und [Unterabschnitt 43.2](#));
- rechnerisch anhand der gemessenen Werte von X_d (siehe [Abschnitt 4](#)), X'_d (siehe [Abschnitt 7](#)) und τ'_d (siehe [Abschnitt 18](#)) anhand der Formel aus [Abschnitt 72](#).

Das Verfahren mit abklingendem Feldstrom wird bevorzugt.

18 Transient-Kurzschlußzeitkonstante (der Längsachse) τ'_d

τ'_d ist diejenige Zeit, welche die langsam veränderliche Komponente des Kurzschluß-Ankerstromes in der Längsachse benötigt, um nach einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abzuklingen, während die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft.

18.1 Die Transient-Kurzschlußzeitkonstante wird durch folgende Verfahren ermittelt:

- dreiphasiger Stoßkurzschluß (siehe [Abschnitt 40](#) und [Unterabschnitt 41.2](#));
- Abklingen des Feldstromes bei kurzgeschlossener Ankerwicklung (siehe [Abschnitte 60](#) und [61](#));
- Berechnung anhand der Meßwerte von X_d (siehe [Abschnitt 4](#)), X'_d (siehe [Abschnitt 7](#)) und τ'_{do} (siehe [Abschnitt 17](#)) mit Hilfe der Formel aus [Abschnitt 72](#).

Wenn ein Stoßkurzschlußversuch durchgeführt wird für die Bestimmung von X'_d , dann sollte τ'_d aus dem gleichen Versuch ermittelt werden. In allen anderen Fällen wird die Methode des abklingenden Feldstromes bei kurzgeschlossener Ankerwicklung bevorzugt.

19 Subtransient-Kurzschlußzeitkonstante (der Längsachse) τ''_d

τ''_d ist diejenige Zeit, welche die während der ersten Perioden rasch abklingende Komponente des Anker-Kurzschlußstromes der Längsachse benötigt, um bei einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abzuklingen, wobei die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft.

19.1 Die Subtransient-Kurzschlußzeitkonstante der Längsachse wird ermittelt durch den dreiphasigen Stoßkurzschlußversuch (siehe [Abschnitt 40](#) und [Unterabschnitt 41.3](#)).

20 Anker-Kurzschlußzeitkonstante τ_a (Gleichstrom-Zeitkonstante)

τ_a ist diejenige Zeit, welche die aperiodische Gleichstromkomponente des Anker-Kurzschlußstromes benötigt, um bei einer plötzlichen Änderung der Betriebsbedingungen auf den Anteil $1/e \approx 0,368$ ihres Anfangswertes abzuklingen, wobei die Maschine mit Bemessungsdrehzahl läuft.

20.1 Die Anker-Kurzschlußzeitkonstante wird anhand des dreiphasigen Stoßkurzschlußversuches durch folgende Verfahren ermittelt:

- Abklingen des Wechselanteils des Erregerstromes (siehe [Abschnitt 40](#) und [Unterabschnitt 41.4](#));
- Abklingen des aperiodischen (Gleich-)Anteiles im Ankerstrom (siehe [Abschnitt 40](#) und [Unterabschnitt 41.5](#));
- rechnerische Bestimmung aus den gemessenen Werten von X_2 (siehe [Abschnitt 10](#)) und R_a (siehe [Abschnitt 15](#)) mit Hilfe der Formel des [Unterabschnittes 72.3](#).

Das Verfahren des abklingenden Wechselanteils des Erregerstromes wird bevorzugt.

21 Bemessungs-Anlaufzeit τ_J

τ_J ist diejenige Zeit, welche benötigt wird, um den Läufer der Synchronmaschine vom Stillstand auf Bemessungsdrehzahl zu bringen, wobei das Beschleunigungsmoment konstant und gleich dem Quotienten aus der Bemessungs-Wirkleistung und der Bemessungs-Winkelgeschwindigkeit ist.

ANMERKUNG 1: Bei Blindleistungsmaschinen wird die Bemessungs-Wirkleistung durch die Bemessungs-Scheinleistung ersetzt.

ANMERKUNG 2: Wenn die Bemessungs-Anlaufzeit für eine Gruppe von gekoppelten Maschinen bestimmt wird, so werden für das Beschleunigungsmoment die Bemessungs-Wirkleistung und die Bemessungs-Winkelgeschwindigkeit der Synchron-Hauptmaschine zugrunde gelegt.

22 Trägheitskonstante H

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

22.1 Die Anlaufzeit und die Trägheitskonstante einer Maschine oder einer Maschinengruppe werden durch folgende Verfahren ermittelt:

- Schwingungen des aufgehängten Läufers (siehe [Abschnitte 62 und 63](#));
- Ausschlag eines Hilfspendels (siehe [Abschnitte 64 und 65](#));
- Auslauf aus dem Leerlauf (siehe [Abschnitte 66 und 67](#));
- Auslauf bei Last und Motorbetrieb der Maschine (siehe [Abschnitte 68 und 69](#));
- Beschleunigung nach plötzlicher Entlastung im Generatorbetrieb (siehe [Abschnitte 70 und 71](#)).

Alle obengenannten Verfahren sind praktisch gleichwertig. Die Anwendung des einen oder anderen Verfahrens hängt vom Entwurf und von der Scheinleistung der betreffenden Maschine ab.

23 Bemessungs-Erregerstrom I_{fN}

I_{fN} ist der Strom in der Erregerwicklung (Feldwicklung) beim Betrieb der Maschine mit ihren Bemessungswerten für Spannung, Strom, Leistungsfaktor und Drehzahl.

23.1 Der Bemessungs-Erregerstrom wird durch folgende Verfahren ermittelt:

- direkte Messung unter Bemessungs-Betriebsbedingungen;
- zeichnerisch anhand des Potier-Diagramms (siehe [Abschnitt 31](#)), des ASA-Diagramms (siehe [Abschnitt 32](#)) oder des Schweden-Diagramms (siehe [Abschnitt 33](#)).

Die direkte Messung wird bevorzugt, jedoch gelten die zeichnerischen Methoden als gleichwertig.

24 Bemessungs-Spannungsänderung ΔU_N

ΔU_N ist die Änderung der Klemmenspannung beim Übergang vom Bemessungsbetrieb auf Leerlaufbetrieb bei gleichbleibender Drehzahl und gleichbleibendem Erregerstrom.

24.1 Die Bemessungs-Spannungsänderung wird durch folgende Verfahren ermittelt:

- direkte Messung;
- zeichnerisch anhand der gemessenen Leerlaufkennlinie (siehe [Unterabschnitt 25.1](#)) und des gemessenen Bemessungs-Erregerstromes (siehe [Abschnitt 23](#) und [Unterabschnitt 23.1](#)).