

Maßnahme	Anwendung und Auswahl	Verhalten	Vorteil / Nachteil
Geräteschutzsicherung (Extern-Primär)	Vorschalten einer auf den primärseitigen Nennstrom abgestimmte Geräteschutzsicherung (z.B. G-Sicherung 5x20mm) mit träger oder superträger Auslösecharakteristik.	Die Sicherung löst im Überlastfall (Kurzschluß, Überlast etc.) nach der i ² t-Kennlinie aus. Die Kennlinie ist den Sicherungs-Herstellerangaben zu entnehmen.	Vorteil: Sicheres Abschalten des Stromkreises in nahezu allen Fehlerfällen; relativ preiswert. Nachteil: Bei Betrieb von beispielsweise mehreren Halogenlampen wird im Einschaltmoment der extrem niedrige Kaltwiderstand aller parallelgeschalteten Lampen wirksam, der im Einzelfall so niedrig sein kann, daß er einem Kurzschluß nahekommt. Dies kann bereits zum Auslösen der Sicherung führen. Um einen bestimmungsgemäßen Gebrauch zu gewährleisten, muß immer die korrekte Sicherung ersetzt werden; kein Schutz vor übermäßiger, externer Überhitzung.
PTC-Widerstand (Extern/Intern-Primär)	Vorschalten eines auf den primärseitigen Nennstrom abgestimmten PTC-Widerstandes. Einwickeln in den Transformator, durch hohe Temperaturentwicklung im Auslösefall, nur bedingt und mit relativ hohem Aufwand möglich.	Wird der Nennstrom um ein bestimmtes Maß überschritten, so kippt das Bauelement vom ursprünglich niederohmigen in den hochohmigen Zustand und läßt nur noch wenige mA fließen. Dies kann auch durch Überschreiten einer bestimmten Temperatur erreicht werden. Dieser Zustand bleibt solange erhalten, bis die Spannung abgeschaltet wird und das PTC sich abkühlen kann.	Vorteil: Guter Schutz vor Überlast und Übertemperatur; relativ preiswert. Nachteil: Nur erhältlich bis 0,65 A; Montage- und Isolationsaufwand sind relativ hoch, so daß der recht günstige Anschaffungspreis durch Zusatzkosten verschlechtert wird.
Überstrom-Schutzschalter (Extern-Primär)	Vorschalten eines auf den primärseitigen Nennstrom abgestimmten Überstrom-Schutzschalters. Die, wenn auch kompakte Bauform, schließt das Einwickeln in Transformatoren aus. Muß zusätzlich, wie auch die G-Sicherung, an zugänglicher Stelle des Gehäuses montiert werden.	Auslösung im Überlastfall nach i ² t-Kennlinie des Schalterherstellers.	Vorteil: Nach Behebung der Auslöseursache ist durch Rückstellung des Schalters der Transformator (Gerät, Lampe) wieder betriebsbereit; guter Schutz. Nachteil: Bauform (Volumen) und Kosten (relativ teuer).
Temperatur-Sicherung (Intern-Primär)	Einwickeln und Zwischenschalten in den Primärkreis des Transformators. Die Auswahl richtet sich nach: Nennspannung, Nennstrom, Isolationsspannung und Nennschalttemperatur. Die Abstufung der Nennwerte ist nicht genormt; sie müssen mit bestimmten Toleranzen auf den Transformator abgestimmt sein.	Temperatursicherungen schalten durch selbsttätiges Öffnen des Stromkreises ein Gerät ab, wenn die Nenn-Schalttemperatur überschritten wird und eine unzulässige Erwärmung eintritt. Nach dem Ansprechen ist sie nicht wieder einschaltbar und nicht von Hand rückstellbar. Es müßte das ganze Bauelement ersetzt werden. Kurzzeitige, hohe Einschaltströme, die keine unzulässige Erwärmung mit sich bringen, führen nicht zur Abschaltung. Die Temperatursicherung ist nicht in der Lage, Kurzschlußströme zu unterbrechen.	Vorteil: Kleines, ausfall- und abschaltssicheres sowie preiswertes Bauelement. Nachteil: Keine Kurzschlußabschaltung; nach Auslösen ist der gesamte Transformator nicht mehr verwendbar. Nicht für alle Transformatoren verfügbar 4 A / 250 V max.
Temperaturwächter (Thermoschalter) (Intern-Primär)	Einwickeln und Zwischenschalten in den Primärkreis eines Transformators. Die Auswahl richtet sich nach: Nennspannung, Nennstrom, Isolationsspannung und Nennschalttemperatur. Die Abstufung der Nennwerte ist nicht genormt; sie müssen mit bestimmten Toleranzen auf den Transformator abgestimmt sein.	Temperaturwächter schalten durch Überschreiten der Nennschalttemperatur selbsttätig und öffnen somit einen Stromkreis, der erst nach wesentlicher Temperaturänderung wieder selbsttätig geschlossen wird. Thermoschalter sind nicht in der Lage, Kurzschlußströme zu unterbrechen.	Vorteil: Relativ kleines Bauelement, das nach Behebung einer Fehlerursache selbsttätig wieder betriebsbereit schaltet; Öffnen des Stromkreises durch mechanische Kontakte. Nachteil: Keine Kurzschlußstromabschaltung.
Überstromrelais (Thermorelais) (Intern-Primär)	Einwickeln und Zwischenschalten in den Primärkreis eines Transformators. Die Auswahl richtet sich nach: Nennspannung, Isolationsspannung, Kurzschlußstrom und Nennschalttemperatur. Sämtliche Nennwerte müssen mit bestimmten Toleranzen auf den Transformator abgestimmt sein.	Das Thermorelais spricht sowohl auf Überlast als auch auf Übertemperatur an und hält nach der Abschaltung diesen Zustand aufrecht, bis Spannung abgeschaltet wird und das Bauelement abgekühlt ist.	Vorteil: Guter Schutz bei Übertemperatur und Überlast; z.T. kleine Bauform, sehr montagefreundlich. Nachteil: Die Thermorelais müssen auf jeden Transformator individuell abgestimmt sein; bei kleinen Kurzschlußströmen (0,5 A) relativ lange Auslösezeiten (1 min.); relativ teuer.
Sicherungen/Automaten (Extern-Sek.)	Die Sekundärseitige Absicherung kann, sofern es sich um Kleinspannung handelt (< 32 V), bei Strömen < 30 A mit Sicherungen wie sie z.B. in der Automobilindustrie Verwendung finden, vorgenommen werden. Bei größeren Strömen ist Absicherung nur durch aufwendige Lösungen möglich, z.B. Automaten, Motorschutzschalter oder entsprechend ausgelegte Sicherungen.		

Hinweis:

Die aufgeführten technischen Erläuterungen stellen Anhaltspunkte für viele Anwendungsbereiche dar, daneben gelten Sonder- und Ausnahmeregelungen. Es soll hier eine kurze Einführung in die sehr komplexe Thematik vorgenommen werden.

CE-Kennzeichnung

Gestützt auf den Vertrag zur Gründung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG), insbesondere auf Artikel 100, wurden vom Rat der Europäischen Gemeinschaft EG-Richtlinien erlassen. Diese EG-Richtlinien dienen der Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften in den verschiedenen Mitgliedstaaten der EU, wenn Unterschiede in den nationalen Vorschriften Handelshemmnisse zur Folge haben oder auf andere Weise die Funktion des EU-Binnenmarktes behindern. Die Richtlinien sind vom nationalen Gesetzgeber innerhalb vorgegebener Fristen in das jeweilige nationale Recht umzusetzen.

Der Hersteller muß auf Erzeugnissen, die in den Geltungsbereich bestimmter EG-Richtlinien fallen, die CE-Kennzeichnung als Zeichen der Konformität anbringen. Betroffen sind Erzeugnisse, die von Richtlinien nach der „Neuen Konzeption“ (beschlossen 07.05.1985) erfasst werden, die Anforderungen an die technische Beschaffenheit von Produkten enthalten.

CE-Zeichen:  (Communautés Européennes)

EG-Richtlinien sind verbindliche Rechtsvorschriften der Europäischen Union. Das heißt, dass die Erfüllung dieser Anforderungen **Bedingung für die Vermarktung der Produkte in Europa ist. Der übrige Handelsweltmarkt wird dabei nicht berührt.** Mit dem Anbringen der CE-Kennzeichnung wird die Übereinstimmung der Erzeugnisse mit den entsprechenden grundlegenden Anforderungen aller für das Produkt zutreffenden (anwendbaren) Richtlinien bestätigt. Die CE-Kennzeichnung richtet sich als Nachweis für die Richtlinienkonformität lediglich an die Überwachungsbehörden. Sie wird jedoch als „Qualitätszeichen“ häufig mißdeutet. Deshalb wird sie leider häufig ohne rechtliche Grundlage gefordert.

Obwohl die EG-Konformitätserklärung des Herstellers nur für die Überwachungsbehörden (mindestens 10 Jahre nach dem letzten Inverkehrbringen) bereitzuhalten ist, können auf Kundenwunsch entsprechende Kopien vom Hersteller angefordert werden.

Welche der Richtlinie(n) anzuwenden ist (sind), geht aus der EG-Konformitätserklärung für das jeweilige Produkt hervor, z.B.:

1. Die Niederspannungs-Richtlinie (73/23/EWG) für elektrische Betriebsmittel zur Verwendung bei einer Nennspannung zwischen 50V_{ac} und 1000V_{ac} und zwischen 75V_{dc} und 1500V_{dc}.
2. Die EMV-Richtlinie (89/336/EWG) für Geräte, die elektromagnetische Störungen verursachen können oder deren Betrieb durch diese Störungen beeinträchtigt werden kann.

Nicht kennzeichnungspflichtige Bauteile:

Im Sinne der EMV-Richtlinie wird ein Bauteil definiert als jedes Element, das zum Einbau in ein Gerät verwendet wird, selbst jedoch keine eigene Funktion besitzt und nicht für die Verwendung durch einen Endbenutzer bestimmt ist. Gemäß Artikel 1 der EMV-Richtlinie sind Bauteile also keine Geräte und fallen von vornherein nicht unter diese Richtlinie.

Bsp.:

- a) Bauteile (für Leiterplatten, Geräte, Schaltschränke), welche als Einbauelemente nicht CE-kennzeichnungspflichtig sind, wie z.B. Widerstände, Kondensatoren, Induktivitäten, integrierte Schaltkreise, Drosseln, Transformatoren.
- b) CE-kennzeichnungspflichtige Bauteile (mit Gehäuse und mit Berührungsschutz), welche eigenständig zu betreiben sind und/oder an

Endverbraucher verkauft werden, wie z.B. steckerfertige Netzteile, Batterieladegeräte, PC's, Transformatoren für Baustellen und/oder Halogenleuchten.

Elektromagnetische Verträglichkeit

Gemäß Definition der EMV-Richtlinie 89/336/EWG ist elektromagnetische Verträglichkeit die Fähigkeit eines Gerätes, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in dieser Umwelt vorhandenen Geräte unannehmbar wären.

Es wird unterschieden zwischen:

1. Elektromagnetische Störung (EMS)
2. Elektromagnetische Störfestigkeit (EMI)

Elektromagnetische Störung (EMS)

Die elektromagnetische Störung (Störaussendung) ist jede elektromagnetische Erscheinung (z.B. Rauschen, unerwünschtes Signal), die die Funktion eines Gerätes, einer Anlage oder eines Systems beeinträchtigen könnte. Die Fachgrundnorm zur Störaussendung ist

- EN 50 081-1 (Wohn- und Gewerbebereich)
- EN 50 081-2 (Industriebereich)

Elektromagnetische Störfestigkeit (EMI)

Die elektromagnetische Störfestigkeit ist die Fähigkeit eines Gerätes, einer Anlage oder eines Systems, während einer elektromagnetischen Störung ohne Funktionsbeeinträchtigung zu arbeiten. Die Fachgrundnorm zur Störfestigkeit ist

- EN 50 082-1 (Wohn- und Gewerbebereich)
- EN 50 082-2 (Industriebereich)

EMV-Normen

Die Grundlagen für die EMV-Normung werden im Wesentlichen durch

CISPR, gegründet 1934
(International Special Committee on Radio Interference, Comité d'études 77 de la Commission Electrotechnique Internationale)

und

IEC TC77, gegründet 1974
(International Electrotechnical Commission Technical Committee 77, Comité d'études 77 de la Commission Electrotechnique Internationale)

in Übereinstimmung mit der IEC Richtlinie Guide 107 (EMC-Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications) erarbeitet.

Das Ziel des Guide 107 ist es, darauf zu achten, dass bei der EMV Normung gleiche Prozeduren und Betrachtungsweisen zur Anwendung kommen, sowie alles in sich schlüssig zu halten. Betrachtet werden geleitete und gestrahlte Phänomene im Frequenzbereich 0 Hz bis 400 GHz, in dem elektromagnetische Verträglichkeit erzielbar sein soll.

Generell sind vier Kategorien von EMV-Normen definiert, wobei jede EMV-Norm im allgemeinen nur einer der vier Kategorien zugeordnet wird.

1. Basispublikation (Basic Standards), z.B. IEC 61000-2, -3, -4, -5 u.s.w.; CISPR 11, 13, 14, 15, 22

Die Basispublikationen können den Status einer Norm, aber auch den Status eines technischen Berichts haben. Sie enthalten die entsprechenden Meßverfahren, Klassifikation von Umgebungsbedingungen und Testtechniken zur EMV, aber keine Produktfamilien oder Produkt-Meßgrenzwerte. Auf die Basispublikationen wird in den Fachgrundnormen, Produktfamiliennormen und Produktnormen immer wieder Bezug genommen. Schon aus dem Titel muß zu ersehen sein, daß es sich um eine Basispublikation (Basis Norm) handelt.

2. Fachgrundnormen (Generic Standards)

- EN 50081-1, -2 (Störaussendung)
- EN 50082-1, -2 (Störfestigkeit)

Die Fachgrundnormen sind auf Produkte anzuwenden, wenn es hierfür weder Produktfamiliennormen noch Produktnormen gibt. Es wird grund-

sätzlich zwischen den Umgebungsbedingungen Industrie (Versorgung über Industrienetz) sowie Wohn-, Geschäfts-, Gewerbebereich und Kleinbetriebe (Versorgung über öffentliches Stromnetz) unterschieden. Eine begrenzte Zahl von Tests zur EMV geben minimale Störfestigkeitsgrenzwerte und maximale Störaussendungsgrenzwerte an, gehen aber nicht auf bestimmte Eigenschaften von Produkten ein.

3. Produktfamiliennormen (Product Family Standards), z.B.

- EN 55011 (Störaussendung), Industrielle, Wissenschaftliche, Medizinische (ISM) Geräte,
- EN 55013 (Störaussendung), Audio, TV, Radiogeräte
- EN 55020 (Störfestigkeit), Audio, TV, Radiogeräte
- EN 55014 (Störaussendung), Haushaltsgeräte
- EN 55104 (Störfestigkeit), Haushaltsgeräte

Die Produktfamiliennormen sind auf bestimmte Produktfamilien zugeschnitten und beinhalten spezielle Vorgaben (z.B. Grenzwerte, Testaufbau, Betriebs- und Beanstandungskriterien). Bezüglich der Meßverfahren wird auf Basispublikationen verwiesen und die Grenzwerte sind mit den Fachgrundnormen koordiniert. Produktfamiliennormen zur EMV können als Norm eigenständig sein, aber auch als (eigenständiger) Teil von Normen, die weitere Aspekte (z.B. elektrische Sicherheit) für die Produktfamilie regeln.

4. Produktnormen (Dedicated Product Standards), z.B.

- EN 61800-3 Frequenzrichter,
- EN 50199 Lichtbogenschweißgeräte

Die Produktnormen sind für spezielle Produkte gedacht, haben die höchste Anwendungspriorität und sind damit alleinig zur Gewährleistung der EMV des Produktes anzuwenden. Bezüglich der Einbeziehung von Basispublikationen und Fachgrundnormen gelten für die Produktnormen die gleichen Regeln wie für Produktfamiliennormen.

Transformatoren

Anforderungen

Die konstruktiven Unterschiede von Transformatoren werden grundsätzlich durch ihren **vorgesehenen Einsatz** bestimmt. Entsprechende Anforderungen sind in den **Installations- und Gerätevorschriften** (z.B. VDE 0100, VDE 0113, VDE 0700, VDE 0800) festgelegt.

Ein wichtiges Auswahlkriterium ist der Isolationsaufbau zwischen Ein- und Ausgangstromkreisen:

Transformatoren mit doppelter oder verstärkter Isolierung

- Sicherheitstransformatoren (für Schutzmaßnahme Schutzkleinspannung)
- Trenntransformatoren (für Schutzmaßnahme Schutztrennung)

Transformatoren mit Basisisolierung

- Steuertransformatoren (für Schutzmaßnahme Schutzerdung)
- Netztransformatoren mit getrennten Wicklungen, allgemein

Transformatoren ohne Isolierung zwischen Ein- und Ausgangstromkreisen

- Spartransformatoren

Schutzklasse

Die Schutzklasse ist ein **Konstruktionsmerkmal eines Gerätes** für die Sicherheit gegen gefährliche Körperströme (elektrischer Schlag),

Schutzklasse I:

Gerät mit Schutzleiteranschluss und Basisisolierung

Schutzklasse II:

Gerät ohne Schutzleiteranschluss und doppelter oder verstärkter Isolierung

Zum Einbau in Geräte vorgesehene, offene Transformatoren besitzen keine Schutzklasse und können nur "vorbereitet für" diese sein. Transformatoren, vorbereitet für den Einsatz in Schutzklasse II - Geräten, können auch in Geräte der Schutzklasse I eingesetzt werden.

Allgemeine technische Hinweise für Induktivitäten

Schutzart

Die Angabe der Schutzart nach DIN 40 050 bzw. VDE 0470 beschreibt den **Schutz von elektrischen Betriebsmitteln** durch Gehäuse, Abdeckungen, Umhüllungen und dergleichen.

Die Schutzart wird durch Kurzzeichen angegeben, wobei die erste Kennziffer (0-6) den Schutz gegen Berühren und gegen das Eindringen von Fremdkörpern Auskunft gibt. Die zweite Kennziffer (0-8) informiert über den Schutz gegen das Eindringen von Wasser.

Gebräuchliche Schutzarten:

IP 00

Kein besonderer Schutz gegen zufälliges Berühren und gegen Eindringen von Fremdkörpern. Kein besonderer Schutz gegen Wasser.

In Schutzart IP 00 werden Konstruktionen der "offenen Bauart" gefertigt.

IP 20

Schutz gegen Berühren und gegen Eindringen von festen Fremdkörpern größer \varnothing 12 mm. Kein besonderer Schutz gegen Wasser.

IP 23

Schutz gegen Berühren und gegen Eindringen von festen Fremdkörpern größer \varnothing 12 mm. Schutz gegen Sprühwasser, das in einem beliebigen Winkel bis 60° zur Senkrechten fällt, darf keine schädliche Wirkung haben.

IP 40

Schutz gegen Berühren und gegen Eindringen von festen Fremdkörpern größer \varnothing 1 mm. Kein besonderer Schutz gegen Wasser.

IP 44

Schutz gegen Berühren und gegen Eindringen von festen Fremdkörpern größer \varnothing 1 mm. Schutz gegen Spritzwasser, das aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel spritzt, darf keine schädliche Wirkung haben.

IP 54

Vollständiger Schutz gegen Berühren. Schutz gegen schädliche Staubablagerungen. Das Eindringen von Staub ist nicht vollkommen verhindert, aber der Staub darf nicht in solchen Mengen eindringen, daß die Arbeitsweise beeinträchtigt wird.

Schutz gegen Spritzwasser, das aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel gerichtet wird, darf keine schädliche Wirkung haben.

IP 65

Vollständiger Schutz gegen Berühren. Schutz gegen Eindringen von Staub.

Schutz gegen Stahlwasser. Ein Wasserstrahl aus der Düse, der aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel gerichtet wird, darf keine schädliche Wirkung haben.

Die Angabe der Schutzart bezieht sich auf den Lieferzustand und die festgelegte oder übliche Aufstellung des Betriebsmittels.

Durch andere Aufstellung oder anderen Einbau kann sich die Schutzart ändern.

Isolierstoffklasse

Die Vorschriften IEC 85 und IEC 216 beschreiben u.a. die **thermische Beständigkeit von Elektroisolistoffen**.

Bezogen auf den Zeitraum der thermischen Beständigkeit werden Isolierstoffklassen Temperaturen zugeordnet.

Gebräuchliche Isolierstoffklassen:

A (105°C),

E (120°C),

B (130°C),

F (155°C)

Nenn-Umgebungstemperatur

Die Nenn-Umgebungstemperatur ist die höchste Umgebungstemperatur des Transformators, bei der dieser dauernd unter normalen Betriebsbedingungen betrieben werden darf.

Es ist die **Temperatur, welche den Transformator umgibt**. Besondere Beachtung gilt dem Einbau offener Transformatoren in Gehäuse hoher Schutzart. Eine mögliche mangelhafte

Kühlung kann zu unzulässig hohen Temperaturen im Gehäuse führen. Hierbei ist u.U. eine Reduzierung der zu erwartenden Lebensdauer des Transformators möglich (siehe "Isolierstoffklasse").

Die Nenn-Umgebungstemperatur wird in Kurzschreibweise angegeben.

Beispiele:

T 25 oder $t_a = 25^\circ\text{C}$, T 40 oder $t_a = 40^\circ\text{C}$

Übertemperatur

Die Übertemperatur ist die Temperatur im Transformator, welche für die festgelegten Betriebsbedingungen des Transformators durch die **Eigenerwärmung** entsteht.

Die mögliche Übertemperatur errechnet sich aus der sich ergebenden Differenz einer der Isolierstoffklasse zugeordneten Temperatur und der Nenn-Umgebungstemperatur des Transformators. Abhängig von der Isolierstoffklasse ist zusätzlich für Heißpunkte die mögliche Übertemperatur zu reduzieren.

Beispiel:

Isolierstoffklasse E (120°C),

Heißpunkt 5°C

Nenn-Umgebungstemperatur 40°C

$dT = 120^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = 75^\circ\text{C}$

Beharrungstemperatur

Erreicht ein Transformator im Nennbetrieb sein thermisches Gleichgewicht (konstante Temperatur), so befindet er sich in Beharrung, d.h. seine Eigenerwärmung verändert sich nicht mehr.

Betriebstemperatur

Die Eigenerwärmung und die Umgebungstemperatur des Transformators als Summe definieren die Betriebstemperatur.

Eigenerwärmung

Die Eigenerwärmung ist von der Verlustleistung des Transformators abhängig (Ummagnetisierungs-, Wirbelstrom- und Kupferverluste).

Betriebsarten

Bei der Wahl des Transformators ist die Betriebsart von Bedeutung. So erwärmt sich z.B. ein Transformator bei nur kurzfristiger Belastung weniger als bei andauernder Belastung und kann deshalb kleiner gewählt werden. Man unterscheidet nach VDE 0530 die Nennbetriebsarten S1 bis S9.

Bei **Dauerbetrieb S1** ist die Betriebsdauer bei Nennleistung so lang, daß die Beharrungstemperatur erreicht wird. Diese Transformatoren sind für Dauerbetrieb geeignet d.h. sie dürfen dauernd mit ihrer Nennlast belastet werden.

Bei **Kurzzeitbetrieb S2** ist die Betriebsdauer im Vergleich zur nachfolgenden Pause so kurz, daß die Beharrungstemperatur nicht erreicht wird. In der anschließenden längeren Pause kühlt der Transformator sich auf die Ausgangstemperatur ab.

Beim **Aussetzbetrieb S3, S4, S5** sind Betriebsdauer und Pausen kurz. Die Spielzeit beträgt normalerweise 10 min. Die Pause genügt nicht zum Abkühlen des Transformators auf Umgebungstemperatur.

Nenn-Eingangsspannung

Die Nenn-Eingangsspannung ist die für den Transformator festgelegten Betriebsbedingungen festgelegte, sinusförmige Versorgungsspannung (bei Drehstrom-Systemen die Spannung der Außenleiter zueinander).

Nenn-Eingangsspannungsbereich

Der Nenn-Eingangsspannungsbereich ist der dem Transformator zugeordnete Eingangsspannungsbereich, ausgedrückt durch seine obere und untere Grenze.

Gemäß IEC 38 ist die Normspannung für ganz **Europa einheitlich auf 230/400 V -10% / +6%** festgelegt.

Nennfrequenz

Die Nennfrequenz ist die dem Transformator für die festgelegten Betriebsbedingungen zugeordnete Frequenz.

Leerlauf-Strom

Der Leerlauf-Strom ist der **(Schein-) Eingangsstrom des unbelasteten Transformators** bei Nenn-Eingangsspannung und Nenn-Eingangsfrequenz.

Die Größe des Leerlauf-Stromes kann, größtenteils bedingt durch nicht konstante Kernblecheigenschaften, auch innerhalb eines Fertigungsloses schwanken.

Leerlauf-Leistung

Die Leerlauf-Leistung ist die **(Wirk-) Eingangsleistung des unbelasteten Transformators** bei Nenn-Eingangsspannung und Nennfrequenz.

Diese Leistung führt zu einer Erwärmung des unbelasteten Transformators.

Eingangs-(Primär-)Wicklung

Die Eingangswicklung ist die zum Anschluß an den Versorgungsstromkreis bestimmte Wicklung. Es können **mehrere Wicklungen** für Reihen- und Parallelschaltung, sowie Anzapfungen vorhanden sein. Je nach Anzahl, Isolationsaufwand und prozentualer Abweichung der Anzapfungen, gegenüber der Nenn-Eingangsspannung, kann eine Erhöhung der Kernleistung (Baugröße) erforderlich sein.

Nenn-Ausgangsspannung

Die Nenn-Ausgangsspannung ist die Ausgangsspannung (bei Drehstrom die Spannung der Außenleiter zueinander) bei Nenn-Eingangsspannung, Nennfrequenz, Nenn-Ausgangsstrom und bei Nenn-Leistungsfaktor, die dem Transformator für die festgelegten Betriebsbedingungen zugeordnet ist.

Leerlauf-Ausgangsspannung

Die Leerlauf-Ausgangsspannung ist die Ausgangsspannung des **unbelasteten Transformators** bei Nenn-Eingangsspannung und Nennfrequenz.

Für Sicherheits-, Trenn- und Steuertransformatoren sind teilweise Höchstwerte, bezogen auf die Nenn-Ausgangsspannung einzuhalten. Eine übliche Schreibweise ist z.B.:

Leerlaufsp. = Ausgangssp. x Faktor

Hinweis: Nach VDE 0113 und VDE 0550 Teil 1 (IEC 14 D (CO) 29) darf bei Steuertransformatoren die Leerlauf-Ausgangsspannung um max. 10% steigen!

Bei (Ausgangs-) Nennleistung über 1 kVA wird die Kurzschlussleistung (in Prozent der Nenn-Eingangsspannung) angegeben. Überschlägig lassen sich Kurzschlussleistung (%) und Leerlaufspannungsfaktor

(-1,00 = %) miteinander vergleichen.

Ausgangs- (Sekundär-) Wicklung

Die Ausgangswicklung ist eine zum Anschluß eines Verteilerstromkreises, eines Gerätes, eines Betriebsmittels oder einer anderen Einrichtung bestimmte Wicklung.

Es können **mehrere Wicklungen** sowie **Anzapfungen** vorhanden sein. Je nach Anzahl und Isolationsaufwand kann eine Erhöhung der Kernleistung (Baugröße) des Transformators erforderlich werden.

Falls nicht anders vereinbart, so werden Anzapfungen für die Stromstärke der höchsten Spannungsstufe ausgelegt. Soll an jeder Anzapfung die volle (Ausgangs-) Nennleistung zu entnehmen sein bzw. sind mehrere nicht gleichzeitig oder veränderliche belastbare Ausgangswicklungen gewünscht, so erhöht sich der Bedarf an Wickelraum. Die Kernleistung des Transformators ist somit höher als die (Ausgangs-) Nennleistung anzusetzen.

Nennleistung

Die (Ausgangs-) Nennleistung ist das Produkt aus Nenn-Ausgangsspannung und Nenn-

Allgemeine technische Hinweise für Induktivitäten

Ausgangsstrom (bei Drehstrom-Systemen das 3-fache des Produktes).
Falls der Transformator mehr als eine Ausgangswicklung oder eine Ausgangswicklung mit Anzapfungen hat, ist die Nennleistung die Summe der Produkte aus Nenn-Ausgangsspannung und Nenn-Ausgangsstrom aller gleichzeitig belastbaren Stromkreise.

Kernleistung

Die Kernleistung ist die einer bestimmten **Bauform od. Baugröße zugeordnete Leistung**, unter Vorgabe bestimmter Betriebs- oder Konstruktionseigenschaften.

Betriebseigenschaften können z.B. sein:
Isolierstoffklasse E, Nenn-Umgebungstemperatur 40°C, Nennfrequenz 50 Hz, Leerlauf-Ausgangsspannungs-Faktor max. 1,10
Konstruktionseigenschaften können z.B. sein:
Schutzart IP 54, Isolationsaufbau, Mehrbedarf an Wickelraum, Vorgabe eines bestimmten Kerntyps

Spartransformatoren

Spartransformatoren besitzen gemeinsame Eingangs- und Ausgangswicklungen. Es ist daher **keine galvanische Trennung** zwischen den Wicklungen vorhanden.

In Abhängigkeit der Spannungsübersetzung ergibt sich eine zum Teil erhebliche Verkleinerung der Kernleistung gegenüber einer Ausführung mit getrennten Wicklungen.

$$P_{\text{Kern}} = U_H \cdot I_H - U_N \cdot I_N / U_H \times P_{\text{Nenn}}$$

mit

P_{kern} = erforderliche Kernleistung (VA)

P_{nenn} = Nenn-Ausgangsleistung (VA)

(Durchgangsleistung)

U_H = höhere Spannung (V)

U_N = niedrigere Spannung (V)

Beispiel:

Ein Verbraucher von 380 V / 5 kVA soll an ein Netz mit 415 V angepaßt werden.

$$P_{\text{Kern}} = \frac{415 \text{ V} \cdot 380 \text{ V}}{415 \text{ V}} \times 5000 \text{ VA} = 422 \text{ VA}$$

Die erforderliche Kernleistung des Spartransformators beträgt somit nur 422 VA.

Kurzschlußfestigkeit

Transformatoren werden nach der Art der Kurzschlußfestigkeit unterteilt:

Ein **kurzschlußfester Transformator** ist ein Transformator, bei dem die Temperatur bei Überlast oder im Kurzschluß die festgelegten Grenzen nicht überschreitet und nach dem Entfernen der Überlast wieder betriebsfähig ist.

a. Ein **unbedingt kurzschlussfester Transformator** ist ein kurzschlussfester Transformator **ohne Schutz Einrichtung**, bei welchem die Temperatur bei Überlast oder im Kurzschluß die festgelegten Grenzwerte nicht überschreitet und nach dem Entfernen der Überlast oder des Kurzschlusses weiterbetrieben werden kann. Physikalisch bedingt lassen derartige Transformatoren nur Konstruktionen mit geringer Nennleistung bis ca. 4 VA zu.

b. Ein **bedingt kurzschlußfester Transformator** ist ein kurzschlussfester Transformator **mit einer eingebauten Sicherung**, die den Stromkreis öffnet oder den Strom im Eingangs- oder Ausgangskreis begrenzt, wenn der Transformator überlastet oder kurzgeschlossen wird.
Hinweis: Beispiele für Schutz einrichtungen sind Sicherungen, Überlastauslöser, Temperatursicherungen, selbsttätig oder nicht selbsttätig zurückstellende Temperaturbegrenzer, Kalleiter und automatisch mechanisch auslösende Schutzschalter.

Ein **nicht kurzschlussfester Transformator** ist ein Transformator, der dazu bestimmt ist, gegen übermäßige Temperatur durch eine **Schutz einrichtung** geschützt zu werden, die **nicht** im Transformator **eingebaut** ist.

Code zur Farbkennzeichnung

Wenn ein Farbcode auf elektrotechnischem Gebiet bei Texten von Beschreibungen, bei Bezeichnungen, in Schaltungsunterlagen usw. angegeben wird, ist der in der Tabelle angegebene Buchstabencode verwendet (gem. DIN IEC 757/HD 457):

Farbe	Kurzzeichen	
	alt	neu
Schwarz	sw	BK
Braun	br	BN
Rot	rt	RD
Orange	or	OG
Gelb	ge	YE
Grün	gr	GN
Blau	bl	BU
Violett	vi	VT
Grau	gr	GY
Weiß	ws	WH
Rosa	rs	PK
Gold	-	GD
Türkis	tk	TQ
Silber	-	SR
Grün-Gelb	-	GNYE

EMV-Erscheinungen durch niederfrequente magnetische Felder

Induktive Bauelemente erzeugen niederfrequente magnetisch Felder, hervorgerufen durch Streufelder des Magnetisierungsvorganges. in Höhe der Betriebsfrequenz. Ein Einfluß auf benachbarte elektrische Betriebsmittel, Geräte, Ausrüstungen oder Anlagen kann nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Der Grad der Beeinflussung hängt im wesentlichen von einem EMV-gerechten Aufbau (Erdung, Schirmung) der Komponenten und dem räumlichen Abstand zueinander ab. Zur allgemeinen Einschätzung und als Projektierungshilfe können folgende typische Werte, bezogen auf eine Nennleistung von ca. 200 VA, gelten:

Bauelement* (ohne Schirmung)	Streufeld-Induktion im Abstand von	Streufeld-Induktion im Abstand von
	10mm	von 100 mm
Ringkern-Transformator	1,2 mT	0,02 mT
EI-Mantelkern-Transformator	2,2 mT	0,04 mT

*Bezug: Magnetische Kerninduktion ca. 1,2 T (1 Tesla = 1 Vs/m²),

Ferritbauteile

Allgemein

Die Anwendungsgebiete für Ferromagnetika sind so zahlreich, der Frequenzbereich so groß, die Anforderungen so unterschiedlich, daß es notwendig ist, sowohl Materialsorte als auch Kern- und Spulenformen dem jeweiligen Zweck genau anzupassen. Die meisten weichmagnetischen Kerne für Hochfrequenzspulen werden wegen ihrer relativ einfachen Gestalt im Preßverfahren hergestellt.

Permeabilität

Die Anfangspermeabilität μ_i ist eine Materialeigenschaft. Man versteht darunter das Verhältnis der Induktionsänderung zur Feldstärkeänderung an einem homogenen Ringkern mit bestimmten festgelegten Abmessungen. Die Meßfeldstärke muß so klein sein, daß die Induktion im Werkstoff höchstens 0,25 mT erreicht. Wegen der Frequenzabhängigkeit der Permeabilität soll die Meßfrequenz niedrig liegen.

$$\mu_i = 1/\mu_0 \cdot \Delta B/\Delta H \text{ für } H \rightarrow 0$$

Wirksame Permeabilität

Ein magnetisierbarer Kern bewirkt einen Anstieg der Induktivität einer Spule. Der Faktor, um den die Induktivität sich erhöht, ist die wirksame Permeabilität μ_w .

$$L = \mu_w \cdot L_a \text{ oder } \mu_w = L/L_a$$

Komplexe Permeabilität

Die Wirkung eines magnetisierbaren Kerns in einer Spule läßt sich in einem Ersatzschaltbild als Induktivität und Widerstand in Serienschaltung darstellen. Den induktiven Anteil dieses Scheinwiderstandes Z schreibt man der allein auf den Kern zurückzuführenden Induktivität zu, während in dem Widerstand nur die Kernverluste enthalten sind.

$$\vec{Z} = j\Delta L + R$$

Verlustfaktor

Allgemein gilt für eine Induktivität:

$$\tan \delta = R/\omega L$$

Hysteresisbeiwert

Alle magnetisierbaren Werkstoffe haben neben dem Wirbelstrom- und Nachwirkungsverlusten auch Hysteresisverluste, die sich als zunehmender Verlustanteil bei steigender Wechselfeldstärke zeigen. Aus der Differenz der Verlustwerte, die man bei zwei Feldstärken mißt, ist der Hystereseverlust zu berechnen. Die Messungen werden bei niedriger Frequenz z.B. 10 kHz durchgeführt und der Verlustanteil auf die Permeabilität 1 bezogen.

$$h/\mu_p = (2 \cdot \pi \cdot (\tan \delta_2 \cdot \tan \delta_1)) / ((H_2 - H_1) \cdot \mu_p)$$

Hysteresestoffkonstante

Die Hystereseverluste lassen sich auch durch die Hysteresestoffkonstante η_B ausdrücken (lt. IEC 401 empfohlen). Der Zusammenhang ergibt sich aus der folgenden Formel:

$$h/\mu_p = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{2} \cdot \mu_0 \cdot \eta_B$$

Bezogener Temperaturbeiwert

Die von der Temperatur abhängige Änderung der Anfangspermeabilität – auf $\mu_i = 1$ bezogen – wird als Temperaturbeiwert definiert.

$$\alpha F = \Delta \mu / (\mu_p \cdot \Delta \theta)$$

Curietemperatur

Je nach der Zusammensetzung der Ferrite steigt die Permeabilität im Bereich von ca. 100°C bis 500°C bis zu einem Maximum an und fällt dann schroff ab. Die Temperatur, bei der die Permeabilität auf weniger als 10% ihres Wertes bei +23°C abgesunken ist, wird als Curietemperatur bezeichnet.

Spezifischer Widerstand

Ferrite haben einen spezifischen Widerstand, der um mehrere Zehnerpotenzen höher liegt als der von Metallen und mehrere Zehnerpotenzen niedriger als der von Isolierstoffen. Er ist sowohl von der Frequenz als auch von der Feldstärke abhängig. Die Meßbedingungen 100 V/m bzw. 20 A/m² müssen zur Bestimmung des spezifischen Widerstandes eingehalten werden. Im allgemeinen haben Ferrite mit niedriger Permeabilität einen hohen und solche mit hoher Permeabilität einen niedrigen spezifischen Widerstand.

Drosseln

Anforderungen

Die konstruktiven Unterschiede von Drosseln werden grundsätzlich durch ihren **vorgesehenen Einsatz** bestimmt. Im allgemeinen ist man bestrebt, bei einer bestimmten Induktivität einen möglichst niedrigen Gleichstromwiderstand zu erzielen, um den Spannungsverlust klein zu halten und eine hohe Strombelastung zu ermöglichen. Daneben sind jedoch weitere Eigenschaften, wie Eigenresonanz, Leitfähigkeit des Materials bei Berührung mit Nachbarbauelementen oder magnetische Aussteuerbarkeit von Bedeutung. Die Eigenschaften der Ferrit- und Metallpulvermaterialien haben sich für den Einsatz bei Drosseln als vorteilhaft erwiesen.

Ferrite als magnetische Werkstoffe

Ferrit ist ein weichmagnetischer Werkstoff, der sich im wesentlichen aus Mischkristallen oder Verbindungen aus Eisenoxid (Fe₂O₃) mit einem oder mehreren Oxiden zweiwertiger Metalle (MnO, ZnO, NiO und andere) zusammensetzt.

Allgemeine technische Hinweise für Induktivitäten

Die Herstellung ist ähnlich der Keramiktechnologie.

Der Vorteil von Ferriten gegenüber Metallen ist der hohe spezifische Widerstand von 10^{-1} bis $10^5 \Omega \cdot m$. Dadurch ist der Ferrit besonders für den Einsatz bei hohen Frequenzen geeignet (vernachlässigbare Wirbelstromverluste).

Mangan – Zink – Ferrite haben ihr Haupteinsatzgebiet bis einige MHz; Nickel – Zink – Ferrite dagegen bis einige 100 MHz.

Mangan – Zink – Ferrite werden hauptsächlich für Leistungsanwendungen eingesetzt. Kernverlustleistung, Temperaturverhalten und A_L -Wert können über den Sinterprozess beeinflusst werden.

Metallpulver als magnetische Werkstoffe

Stellt man Metallpulver aus kompaktem Material her, so ist dieser mit hohen Wirbelstromverlusten belastet. Um diese zu verringern, muß das Volumen des Kerns in viele, elektrisch voneinander isolierte Bereiche unterteilt werden.

Dies geschieht eindimensional beim Bandkern und dreidimensional bei Metallpulverkern. Solche Kerne haben völlig andere magnetische Eigenschaften als das kompakte Material.

Für viele Anwendungen muß bei Bandkern zusätzlich ein Luftspalt eingebracht werden. Beim Metallpulverkern wird der Luftspalt über die Variation der Teilchenisolierung eingestellt und ist somit über den ganzen Kern homogen verteilt.

Der magnetische Fluß durchdringt beim Metallpulverkern somit abwechselnd magnetische Bereiche und nicht magnetische Zwischenräume. Dadurch wird u.a. ein wesentlich geringeres Streufeld erzeugt als bei Kernen mit Luftspalt. Metallpulverkern eignen sich daher besonders für alle Anwendungen mit DC-Vormagnetisierung.

Die Anfangspermeabilität von Metallpulverkernen hängt vom Material ab und erreicht μ 90 beim Reineisenkern und μ 160 bei Kernen aus „Molybdän-Permalloy-Pulver“.

Nur sorgfältig ausgewählte Pulver von hoher chemischer Reinheit sind in der Lage, die geforderten magnetischen Eigenschaften zu entwickeln.

Die Pulverteilchen werden im ersten Schritt des Herstellungsprozesses wirksam gegeneinander isoliert. Vor dem Pressen wird zur Ausbildung der notwendigen mechanische Stabilität ein Bindemittel zugesetzt. Nach dem Pressen werden die Kerne in einer Schlußglühung auf die gewünschten magnetischen Eigenschaften eingestellt.

Durch Variation der Preßbedingungen, der Teilchenisolation und durch geeignete Wärmebehandlungen können die Parameter des Pulverkerns in weiten Bereichen gezielt verändert werden.

Ringkerne werden zur elektrischen Isolation gegenüber der Wicklung und zum Schutz gegen schädliche Einflüsse der Umgebung mit einer Kunststoffbeschichtung überzogen. Je nach den Anforderungen stehen hier verschiedene Materialien und Verfahren zur Auswahl. Bei geeigneter Gestaltung des Preßwerkzeuges läßt sich Metallpulver auch in anderen geometrischen Formen pressen.

Übertrager und Stromwandler für die Lichttechnik

Die energieökonomische Lichterzeugung (z.B. Halogen- und Leuchtstofflampen) mit Wirkungsgraderhöhungen bei einem Faktor von 6 bis 10 im Vergleich zu herkömmlichen Glühlampen erfordert die Bereitstellung von Konvertern bzw. elektrischen Vorschaltgeräten.

Bei Leuchtstofflampen werden die konventionellen Vorschaltgeräte zunehmend durch elektronische Vorschaltgeräte (EVGs) ersetzt. Vorteile ihrer Anwendung liegen u.a. in der höheren Lichtausbeute von bis zu 90 Lumen / Watt, in einem schnellen flackerfreien Start bzw. Kaltstart, einem geräuschlosen Betrieb, sowie einer Sicherheitsabschaltung bei Kurzschluß oder defektem Leuchtmittel.

Die Niedervolthalogenleuchten werden heute oft auch über EVGs betrieben, wobei die verwendeten Konverter auf einem freischwingendem Schaltnetzteil (Halbbrückenwandler) basieren, mit einem durch die Arbeitsfrequenz (25-100 kHz) bedingten kleinen Ausgangsübertrager zur sicheren Netztrennung.

Zusammenfassend beinhalten EVGs und Konverter induktive Bauelemente wie Stromwandler, Ausgangsübertrager, Schwing- und Entstördrosseln zur Einhaltung der Funkstörpegel gemäß EN 55015.

Induktive Bauelemente für die ISDN-Breitbandtechnik

Für die Entstörung und die Schnittstellenübertrager von Betreiberstellen der digitalen Vermittlungstechnik, die Entstörung von Multimedia-systemen, den Aufbau von lokalen Netzen, die Erweiterung der Netzinfrastruktur und die Installation von Telekommunikationstechniken werden zur Sicherung des Schnitt- und Endstellenbetriebes induktive Bauelemente wie stromkompensierte Ringkerndrosseln, div. Schnittstellenübertrager und Wandlertransformatoren benötigt.

Zum Aufbau der induktiven Bauelemente werden sowohl Ringkerne auf der Basis amorpher Metalle als auch auf der Basis hochpermeabler Ferritwerkstoffe verwendet.

Speicherdrosseln

Speicherdrosseln finden derzeit wesentlich in getakteten Stromversorgungen für die Glättung gleichgerichteter Wechselströme Verwendung. In Abhängigkeit von der magnetischen Flußdichte besteht die Möglichkeit einer definierten Energiespeicherung. Da das Energiespeichervermögen quadratisch von der magnetischen Flußdichte abhängig ist, wird für Speicherdrosseln in der Regel auf metallische Werkstoffe zurückgegriffen. Für den niederfrequenten Frequenzbereich unter 100 kHz eignen sich dafür besonders Reineisenwerkstoffe mit einer Sättigungsflußdichte von 1,6 Tesla. Für höherfrequente Anwendungen ab 50 kHz kann auch das höherpermeable Werkstoffsystem Molybdän-Permalloy mit einer Sättigungsinduktion um 0,8 Tesla verwendet werden.

Hinweise zur Dimensionierung von Speicherdrosseln

Die theoretisch mögliche Speicherenergie W einer Drossel ergibt sich aus der Induktivität L bei konstanter Stromstärke I :

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \quad B \text{ Induktion}$$

$$L = N^2 \cdot \mu \cdot A / l \quad N \text{ Windungszahl}$$

$$H = N \cdot I / l \quad \mu \text{ Permeabilität}$$

$$B = \mu \cdot H \quad A \text{ mittlerer magnet. Querschnitt}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot B^2 / \mu \cdot V \quad H \text{ Magnetfeld}$$

$$\quad \quad \quad I \text{ mittlere magnet. Weglänge}$$

$$\quad \quad \quad V \text{ effektives magnet. Volumen}$$

$$\quad \quad \quad I \text{ Strom}$$

Aufgrund der höheren Sättigungsinduktion besitzen metallische Werkstoffe bei vergleichbarer Permeabilität gegenüber Ferritwerkstoffen ein ca. 4-fach höheres Energiespeichervermögen. Dieser Vorteil wird in getakteten Schaltnetzteilen gezielt zur Glättung von gleichgerichteten Wechselströmen genutzt. Die Berechnungsformeln ermöglichen eine Werkstoffvorauswahl und eine Dimensionierung von Speicherdrosseln, wenn die zu glättenden Stromstärken bekannt sind. Zur Dimensionierung von Induktivitäten werden nachstehende Gleichung angewandt:

Berechnung der Windungszahlen bei vorgegebener Induktivität und Kerngeometrie:

$$N = \sqrt{L / A_L}$$

Berechnung der Induktivität bei vorgegebenem Werkstoff und feststehender Kerngeometrie:

$$L = N^2 \cdot \mu \cdot A / l$$

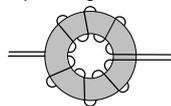
Stromkompensierte Ringkerndrosseln

Stromkompensierte Ringkerndrosseln werden zur Entstörung von elektrischen und elektronischen Geräten verwendet. Die stromkompensierte Ringkerndrossel besteht aus einem hochperme-

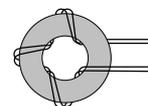
ablen Ringkern mit definierten magnetischen Eigenschaften und zwei gegenseitig angeordneten Wicklungen auf demselben. Aufgrund der gegensätzlichen Aussteuerung kompensieren sich die von den Betriebsströmen ausgehenden Induktionsänderungen im Kernmaterial vollständig. Diese Kompensationswicklung bleibt bis zu relativ hohen Stromstärken erhalten, so daß diese Drosseln zur Entstörung elektrischer Antriebe und Anlagen, welche u.a. asymmetrische Störspannungen verursachen, hervorragend geeignet sind. Symmetrische Störungen werden, bedingt durch die sehr geringe Streuinduktivität, nur in geringem Maß unterdrückt.

Abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall finden vorzugsweise MnZn-Ferritwerkstoffe mit hoher Anfangspermeabilität ($\mu_i = 2000-15000$) zum Aufbau stromkompensierter Drosseln Verwendung. Abhängig vom Wicklungsaufbau kann das Streufeld stromkompensierter Ringkerndrosseln sehr gering gehalten werden. Getrennte segmentartig aufgebaute Wicklungen führen jedoch zu höherer Spannungsfestigkeit der Wicklungen zueinander als parallel aufgebaute.

Aufbau Spannungsfest



Aufbau streufeldarm



Formelzeichen und Einheiten

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Spannung	U	V
Strom	I	A
Verlustleistung	P	V·A, W
Leistung bei Strombelastung	Pi	V·A, W
Widerstand	\bar{R}	V·A ⁻¹ , Ω
Scheinwiderstand	Z	Ω
Spezifischer Widerstand	ρ	$\Omega \cdot m$
Zeit	t	s
Frequenz	f	Hz, s ⁻¹
Kreisfrequenz ($2\pi \cdot f$)	ω	s ⁻¹
Temperatur	ϑ	°C
Curietemperatur bezogener	ϑ_C	°C
Temperaturbeiwert	α_F	K ⁻¹ ·10 ⁻⁶
magnetische Feldstärke	H	A·m ⁻¹
Induktion, Flußdichte	B	T
magnetische Weglänge	l	m
effektive magnetische Weglänge	l _e	m
magnetische Durchflutung	Θ	A
Induktivität	L	H
Induktivität einer Spule ohne Kern	L _a	H
Induktivität bei Strombelastung	L _i	H
Minimale Induktivität	L _{min}	H
Maximale Induktivität	L _{max}	H
Mittlere Induktivität	L ₀	H
Magnetische Feldkonstante	μ_0	1
Anfangspermeabilität	μ_i	1