

	DIN IEC 62271-208 (VDE 0671-208)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 17.220.20; 29.130.10		
Einsprüche bis 2007-11-30		
Entwurf		
Verfahren zur quantitativen Bestimmung des von Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen und fabrikfertigen Stationen für Hochspannung/Niederspannung erzeugten niederfrequenten elektromagnetischen Feldes im eingeschwungenen Zustand (IEC 17C/404/CD:2007)		
Methods to quantify the steady state, low frequency EMF generated by HV switchgear assemblies and HV/LV prefabricated substations (IEC 17C/404/CD:2007)		
Anwendungswarnvermerk		
Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.		
Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.		
Stellungnahmen werden erbeten		
– vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden – oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.		
Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.		
Gesamtumfang 43 Seiten		
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

– Entwurf –

E DIN IEC 62271-208 (VDE 0671-208):2007-10

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 17C/404/CD:2007 „IEC 62271-208 TS Ed. 1: Methods to quantify the steady state, low frequency EMF generated by HV switchgear assemblies and HV/LV prefabricated substations“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

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

Das internationale Dokument wurde vom SC 17C „High-voltage enclosed switchgear and controlgear“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

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

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

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium UK 432.2 „Typgeprüfte Hochspannungs-Schaltanlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

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

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 61786	–	–
–	IEC 106/123/CD (zukünftige IEC 62110)	–	–
EN 62271-200	IEC 62271-200	DIN EN 62271-200 (VDE 0671-200)	VDE 0671-200
EN 62271-201	IEC 62271-201	DIN EN 62271-201 (VDE 0671-201)	VDE 0671-201
EN 62271-202	IEC 62271-202	DIN EN 62271-202 (VDE 0671-202)	VDE 0671-202
EN 61000-6-2	IEC 61000-6-2	DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2)	VDE 0839-6-2
EN ISO 9000	ISO 9000	DIN EN ISO 9000	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-2: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Industriebereiche*

DIN EN 62271-200 (VDE 0671-200), *Hochspannungs-Schaltgeräte und Schaltanlagen – Teil 200: Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV*

DIN EN 62271-201 (VDE 0671-201), *Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Teil 201: Isolierstoffgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV*

DIN EN 62271-202 (VDE 0671-202), *Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Teil 202: Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung*

DIN EN ISO 9000, *Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe*

– Entwurf –

E DIN IEC 62271-208 (VDE 0671-208):2007-10

Verfahren zur quantitativen Bestimmung des von Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen und fabrikfertigen Stationen für Hochspannung/Niederspannung erzeugten niederfrequenten elektromagnetischen Feldes im eingeschwungenen Zustand

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	6
1 Allgemeines	6
1.1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	7
4 Standardbewertungsbedingungen.....	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Bewertung der elektrischen Felder	8
4.2.1 Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen.....	8
4.2.2 Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung	8
4.3 Bewertung der magnetischen Felder	9
4.3.1 Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen.....	9
4.3.2 Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung	9
4.4 Bewertungsverfahren.....	9
5 Messungen	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Messgeräte	10
5.3 Messverfahren	11
5.3.1 Elektrisches Feld	11
5.3.2 Magnetisches Feld.....	11
5.3.3 Hintergrundfelder	11
5.3.4 Umweltfaktoren	12
5.4 Messaufbau	12
5.4.1 Allgemeines	12
5.4.2 Zusätzliche Bestimmungen für fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung	13
6 Berechnungen.....	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Software.....	13
6.3 Berechnungsverfahren	14
6.4 Ergebnisse	14
6.5 Validierung	14
7 Dokumentation.....	15
7.1 Kennwerte von Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen und fabrikfertigen Stationen	15

	Seite
7.2 Bewertungsverfahren	15
7.3 Darstellung der Messergebnisse	15
7.4 Darstellung der Berechnungsergebnisse	15
Anhang A (informativ) Darstellung der Daten der Feldmessung (E oder H) für eine typische fabrikfertige Station für Hochspannung/Niederspannung	21
Anhang B (informativ) Beispiele von geeigneten Problemstellungen mit analytischen Lösungen für die Validierung von EMF-Berechnungen.....	22

Einleitung

Die Hersteller von Einrichtungen für die Elektrizitätsversorgung können gebeten werden, schriftliche Informationen hinsichtlich der Kennwerte des elektromagnetischen Feldes (EMF) bereitzustellen, damit der Anwender

- die EMF-Bedingungen bewerten kann, um so bei Planung, Installation, Betriebsanweisungen und Dienstleistungen zu helfen;
- Maßnahmen zur Einhaltung von EMF-Bestimmungen treffen kann;
- unterschiedliche Produkte vergleichen kann, sofern es deren EMF-Pegel betrifft.

Der EMF-Kennwert einer Einrichtung besteht aus den Werten für das elektrische und magnetische Feld um dessen berührbare Oberflächen herum.

Der EMF-Kennwert, der in dieser technischen Spezifikation definiert wird, bezieht sich auf ein im Anwendungsbereich definiertes einzelnes Produkt. In realen Anlagen können sich mehrere Quellen für Felder überlagern, so dass sich das resultierende elektromagnetische Feld von den Kennwerten eines Einzelproduktes erheblich unterscheiden kann.

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

Die vorliegende technische Spezifikation enthält eine praktische Anleitung für die Beurteilung und Dokumentation von elektromagnetischen Feldern, die von Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen und fabrikfertigen Stationen für Hochspannung/Niederspannung erzeugt werden. Die grundlegenden Anforderungen zur Messung oder Berechnung der elektrischen und magnetischen Felder werden zusammengefasst für Schaltgerätekombinationen, die in IEC 62271-200, IEC 62271-201 und für fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung, die in IEC 62271-202 behandelt werden.

Diese technische Spezifikation gilt für Einrichtungen, die für Spannungen bis 52 kV und Betriebsfrequenzen von 15 Hz bis 60 Hz bemessen sind. Elektromagnetische Felder, die durch Oberschwingungen und Einschwingvorgänge erzeugt werden, finden in dieser technischen Spezifikation keine Berücksichtigung.

Detaillierte Informationen hinsichtlich der Anforderungen und Messungen von niederfrequenten elektromagnetischen Feldern sind enthalten in IEC 61786 *Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements*.

In diese technische Spezifikation wurden Bewertungen unter Werksbedingungen und Laboratoriumsbedingungen vor der Installation aufgenommen. Die elektrischen und magnetischen Felder können entweder durch Messungen oder Berechnungen beurteilt werden.

ANMERKUNG Die Festlegung von Grenzwerten liegt außerhalb des Anwendungsbereiches dieser Norm.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 61786, *Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements*

IEC 106/123/CD (zukünftige IEC 62110), *Measurement procedures of electric and magnetic field levels generated by AC Power Systems with regard to human exposure*

IEC 62271-200, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-201, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 201: AC insulation-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-202, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 202: High-voltage/low-voltage prefabricated substation*

IEC 61000-6-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments*

ISO 9000, *Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050 und die folgenden Begriffe.

3.1

Kennwert des elektrischen Feldes

Werte (Effektivwerte) und die räumliche Verteilung der elektrischen Feldstärke bei Bemessungsspannung und -frequenz um alle berührbaren Oberflächen der Einrichtung herum

3.2

Kennwert des magnetischen Feldes

Werte (Effektivwerte) und die räumliche Verteilung der magnetischen Flussdichte bei Bemessungsstrom und -frequenz um alle berührbaren Oberflächen der Einrichtung herum

3.3

Standardbewertungsbedingungen

die Bedingungen, unter denen das elektromagnetische Feld von Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen und fabrikfertigen Stationen für Hochspannung/Niederspannung zu bewerten und zu dokumentieren ist

3.4

berührbare Oberflächen

die berührbaren Oberflächen sind diejenigen Teile von Wänden und Decken von fabrikfertigen Stationen oder Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen, die berührt werden können, wenn alle Abdeckungen und Türen unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen geschlossen sind

3.5

EMF-Kennwert

die räumliche Verteilung der Gesamtheit (des Betrages) der Effektivwerte der elektrischen Feldstärke (E) und der magnetischen Flussdichte (H). Die räumliche Verteilung wird aus einem Mess- oder Berechnungsgitter abgeleitet

ANMERKUNG Die Begriffe resultierendes elektrisches Feld und resultierendes magnetisches Feld sind in IEC 61786 definiert.

3.6

Messbezugsvolumen

ein virtueller Raum, in dem das elektrische Hintergrundfeld einen geeigneten Pegel nicht überschreiten darf, damit die von der Einrichtung erzeugten elektrischen und magnetischen Felder unbeeinflusst gemessen werden können

4 Standardbewertungsbedingungen

4.1 Allgemeines

Der Kennwert des elektromagnetischen Feldes (EMF-Kennwert) von Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen und fabrikfertigen Stationen für Hochspannung/Niederspannung ist die gemessene oder berechnete elektrische Feldstärke oder die magnetische Flussdichte um alle berührbaren Oberflächen unter den nachfolgend beschriebenen Bewertungsbedingungen. Diese Bedingungen repräsentieren den Betrieb, bei denen die Belastung der Schaltgerätekombinationen und des Transformators in einer Station festgelegten Werten entspricht.

Weil die elektrischen und magnetischen Felder von der physikalischen Anordnung der ankommenden und abgehenden Kabeln und deren Belastungen abhängig sind, werden diese Parameter aufgezeichnet. Weitere vorhandene Feldquellen und Schirmungen oder sonstige metallische Strukturen müssen aufgezeichnet werden.

Der EMF-Kennwert ist unter den Bedingungen zu bewerten, die im bestimmungsgemäßen ungestörten Betrieb zu den höchsten Werten der elektrischen und magnetischen Felder führen würde. Diese Bedingungen schließen die höchsten Ströme und die größten Schleifen ein, die für die mit maximaler Auslastung arbeitenden Gerätekombinationen realistisch möglich sind. Elektromagnetische Felder, verursacht durch Schaltvorgänge, einschließlich Ausschaltung von Erdschlussströmen oder andere Phänomene von Übergangsvorgängen, werden als identisch angesehen und dürfen nicht in Betracht gezogen werden.

ANMERKUNG Der höchste Strom in der Anlage ist auf der Hochspannungsseite der Bemessungsstrom auf der Sammelschiene der Schaltanlage und auf der Niederspannungsseite der Bemessungsstrom des Transformators mit den höchsten Bemessungswerten. Während der Messung oder bei der Simulation für die Berechnung müssen beide Ströme vorhanden sein.

Die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte sind als Resultante der Effektivwerte der drei senkrecht zueinander stehenden Komponenten aufzuzeichnen.

Die Bewertung sollte möglichst bei der Bemessungsfrequenz der Einrichtung vorgenommen werden. Im Frequenzbereich bis einschließlich 60 Hz werden jedoch durch den Istwert der Frequenz die emittierten B - und E -Felder bei allen vorgegebenen Werten von Strom und Spannung nicht nennenswert beeinflusst. Deshalb wird eine Bewertung bei 50 Hz als anwendbar für 60 Hz angesehen und umgekehrt.

Das elektromagnetische Feld ist im niederfrequenten Bereich quasistatisch. Das elektrische Feld und das magnetische Feld können somit unabhängig voneinander behandelt werden. Die folgenden Abschnitte sollten bei der Auswahl der Bedingungen für die höchsten Werte der elektrischen und magnetischen Felder berücksichtigt werden, die für den ungestörten Betrieb so realistisch wie möglich sind.

4.2 Bewertung der elektrischen Felder

4.2.1 Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen

Für die Bewertung der Einrichtung ist die Bemessungsspannung der Hochspannungs-Schaltgerätekombination zugrunde zu legen.

Wenn die Bewertung nicht bei der Bemessungsfrequenz vorgenommen werden kann, müssen die Ergebnisse auf den Bemessungswert extrapoliert werden. Die Feldstärken bei unterschiedlichen Spannungen dürfen linear interpoliert werden, weil die elektrische Feldstärke eine lineare Funktion der Spannung ist.

4.2.2 Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung

Für die Bewertung der Einrichtung ist die Bemessungsspannung des Hochspannungs/Niederspannungs-Transformators bzw. der -Transformatoren zugrunde zu legen.

Wenn die Bewertung nicht bei der Bemessungsfrequenz vorgenommen werden kann, müssen die Ergebnisse auf den Bemessungswert extrapoliert werden. Die Feldstärken bei unterschiedlichen Spannungen dürfen linear interpoliert werden, weil die elektrische Feldstärke eine lineare Funktion der Spannung ist.

ANMERKUNG 1 Wenn die Konstruktion der fabrikfertigen Station für Hochspannung/Niederspannung Transformatoren mit anderen Bemessungsspannungen zulässt, darf der Hersteller eine Bewertung für jeden einzelnen vorsehen.

4.3 Bewertung der magnetischen Felder

4.3.1 Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen

Die Hochspannungs-Schaltgerätekombination wird mit dem höchsten zulässigen Strom beansprucht, der durch den Bemessungsstrom der Sammelschiene bestimmt wird. Um ein maximales Magnetfeld zu erhalten, muss die Stromkreisconfiguration so ausgewählt werden, dass die größtmögliche Stromschleife mit der kleinsten Anzahl von Stromkreisen gebildet wird, wobei deren Bemessungsströme zu berücksichtigen sind.

Wenn die Bewertung nicht beim Bemessungsstrom durchgeführt werden kann, müssen die Ergebnisse auf den Bemessungswert extrapoliert werden. Weil die magnetische Flussdichte eine lineare Funktion des Stroms ist, dürfen die Flussdichten für unterschiedliche Ströme so lange linear extrapoliert werden, wie die Proportionalität der Ströme in jedem Teil aller Stromkreise entsprechend den Bemessungswerten wäre.

4.3.2 Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung

Die Hochspannungs-Schaltanlage ist nach den Angaben in 4.3.1 zu beanspruchen. Die Niederspannungs-Schaltanlage und der Transformator müssen entsprechend dem Höchstwert der Bemessungsleistung des Transformators beansprucht werden. Um ein maximales Magnetfeld zu erhalten, muss die Stromkreisconfiguration so ausgewählt werden, dass die größtmögliche Stromschleife mit der kleinsten Anzahl von Stromkreisen gebildet wird, wobei deren Bemessungsströme zu berücksichtigen sind.

ANMERKUNG 1 Wenn die Konstruktion der fabrikfertigen Station für Hochspannung/Niederspannung Transformatoren mit anderen Bemessungsleistungen zulässt, darf der Hersteller eine Bewertung für jeden einzelnen vorsehen.

ANMERKUNG 2 Die Bemessungsleistung des Transformators muss der Kühlung durch natürliche Belüftung entsprechen. Die EMF-Bewertung mit anderen Kühlmitteln (z. B. Fremdkühlung) sollte zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden.

Wenn die Bewertung nicht bei den Bemessungswerten durchgeführt werden kann, sind die Ergebnisse auf die Bemessungswerte zu extrapolieren. Weil die magnetische Flussdichte eine lineare Funktion des Stroms ist, dürfen die Flussdichten für unterschiedliche Ströme so lange linear extrapoliert werden, wie die Proportionalität der Ströme in jedem Teil aller Stromkreise entsprechend den Bemessungswerten wäre.

ANMERKUNG Die Extrapolation der Werte des Magnetfeldes ist nur zulässig, wenn die Ströme auf der Hochspannungs- und Niederspannungsseite der Anlage nicht unabhängig voneinander schwanken können. Ist dieser Fall nicht gegeben, dann kann die Extrapolation auf der Hochspannungsseite zu einem falschen Ergebnis führen, weil der Strom auf der Niederspannungsseite den Schwankungen des Stroms auf der Hochspannungsseite nicht linear folgen kann.

4.4 Bewertungsverfahren

Der EMF-Kennwert darf vom Hersteller durch Messungen oder durch Berechnung bewertet werden. Beide Verfahren werden als gleichwertig angesehen.

5 Messungen

5.1 Allgemeines

Das elektrische und das magnetische Feld sind bei Betriebsfrequenz unabhängig voneinander. Somit brauchen die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke nicht gleichzeitig aufgezeichnet zu werden.

Der Kennwert des elektrischen Feldes des Betriebsmittels ist unabhängig vom Laststrom.

Der Kennwert des magnetischen Feldes des Betriebsmittels ist unabhängig von der Spannung.

Ein allgemeiner Leitaden zu Messverfahren für elektrische und magnetische Felder ist auch in 106/123/CD (zukünftige IEC 62110) zu finden.

5.2 Messgeräte

Die Geräte zur Messung elektrischer und magnetischer Felder müssen den Anforderungen hinsichtlich Spezifikation und Kalibrierung nach IEC 61786 entsprechen. Für die Konformität mit einem Qualitätssicherungsverfahren, wie es durch die ISO 9000 festgelegt wird, muss die Kalibrierung auf nationale oder internationale Normale zurückführbar sein. Das Kalibrierzertifikat muss vorliegen. Die Messgeräte sollten unter angemessenen Bedingungen, besonders hinsichtlich der elektromagnetischen Störfestigkeit nach IEC 61000-6-2, sowie in den Temperatur- und Luftfeuchtebereichen zum Einsatz kommen, die vom Hersteller der Messgeräte empfohlen werden.

Ein Dreiachsen-Messgerät misst die Effektivwerte des resultierenden Feldes F_r . Um F_r zu erhalten kann auch ein Einachsen-Messgerät angewendet werden, mit dem F_x , F_y und F_z gemessen und in Gleichung (1) eingesetzt werden; dabei sind F_x , F_y und F_z die Effektivwerte der drei senkrecht zueinander stehenden Komponenten des elektrischen oder magnetischen Feldes.

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

Die Anwendung des Dreiachsen-Messgeräts mit drei konzentrischen Aufnehmern ist zu bevorzugen. Kommt ein Einachsen-Messgerät zum Einsatz, ist jedoch besonders auf die Ausrichtung des Aufnehmers entlang der drei senkrecht zueinander stehenden Richtungen zu achten. Dies sollte ohne Verschiebung der Position seines Mittelpunktes erfolgen.

Bei nichtkonzentrischen Aufnehmern sind die Positionen und Ausrichtungen der Aufnehmer, die in den Gehäusen der Feld-Messgeräte untergebracht sind, deutlich auf dem Messgerät oder in der Bedienungsanleitung anzugeben.

Während der Bewertung des magnetischen Feldes, welches von den Hochspannungs-Schaltgerätekombinationen und fabrikfertigen Stationen für Hochspannung/Niederspannung erzeugt wird, ist der Abstand zwischen der Feldquelle und dem Messgerät relativ klein (im Vergleich zu anderen Wechselspannungs-Starkstromeinrichtungen, wie Freileitungen). Die Messungen werden im Allgemeinen in ungleichförmigen Feldern durchgeführt. Bei der Messung des magnetischen Feldes ist es notwendig, das Verhältnis des Abstands (d_{sc}) von der Feldquelle und dem Radius des Aufnehmers (a) zu berücksichtigen. Bei der Messung mit einem Dreiachsen-Messgerät wird ein Abstandsverhältnis von 5 als geeignet angesehen.

ANMERKUNG Bei der Anwendung eines Messfühlers mit einem Radius von 5 cm muss der kürzeste Abstand zur Feldquelle mindestens 25 cm betragen, wenn ein Verhältnis von 5 zugrunde gelegt wird. Weitere Angaben zu diesem Thema sind in IEC 61786 enthalten.

5.3 Messverfahren

5.3.1 Elektrisches Feld

Der Höchstwert des elektrischen Feldes an jeder berührbaren Seite und dem Dach, falls zugänglich, ist bei einem ersten Abtasten auf einem groben Gitter in einem senkrechten Abstand von 20 cm zu ermitteln, um die Bereiche mit dem stärksten Feld zu finden, und zur Lokalisierung der Hotspots ist das Gitter anschließend zu verfeinern. Siehe auch Bild 1 und Bild 2. Wenn die Einrichtung keine eckige Form besitzt, ist der Umfang in mindestens vier Abschnitte aufzuteilen, die als berührbare Seiten betrachtet werden, um die Hotspots zu lokalisieren.

Wenn die Oberfläche der Einrichtung nicht regelmäßig ist, sollte dem Oberflächenprofil so gut wie möglich gefolgt werden, um dem 20-cm-Abstand beizubehalten. Hervorstehende Elemente, wie Griffe, sind zu vernachlässigen.

Zur Bestimmung der Veränderung des Feldes in Abhängigkeit vom Abstand sind Messreihen aufzunehmen, die ausgehend von der Position mit dem höchsten Wert entlang einer Linie senkrecht zur berührbaren Oberfläche durchgeführt werden. Diese Messung ist auszuführen, bis der gemessene Wert kleiner als 1/10 des Wertes ist, der im Abstand von 20 cm von der Einrichtung gemessen wurde; siehe Bild 3. Für die Erfüllung der speziellen Anforderungen (z. B. für einen Kunden oder ein Land) können zusätzliche Messungen durchgeführt werden.

ANMERKUNG Im Rahmen dieser Technischen Spezifikation werden für die Einrichtungen keine nennenswerten elektrischen Felder erwartet. Es ist jedoch das Ziel dieser Technischen Spezifikation, eine Anleitung zur Messung dieser Felder zu geben, wenn Hersteller und Betreiber dies gegebenenfalls fordern.

5.3.2 Magnetisches Feld

Der Höchstwert des magnetischen Feldes an jeder berührbaren Seite und der Oberseite, falls zugänglich, ist bei einem ersten Abtasten auf einem groben Gitter in einem senkrechten Abstand von 20 cm zu ermitteln, um die Bereiche mit dem stärksten Feld zu finden, und zur Lokalisierung der Hotspots ist das Gitter anschließend zu verfeinern. Siehe auch Bild 1 und Bild 2. Wenn die Einrichtung keine eckige Form besitzt, ist der Umfang in mindestens vier Abschnitte aufzuteilen, die als berührbare Seiten betrachtet werden, um die Hotspots zu lokalisieren.

Wenn die Oberfläche der Einrichtung nicht regelmäßig ist, sollte dem Oberflächenprofil so gut wie möglich gefolgt werden, um dem 20-cm-Abstand beizubehalten. Hervorstehende Elemente, wie Griffe, sind zu vernachlässigen.

Zur Bestimmung der Veränderung des Feldes in Abhängigkeit vom Abstand sind Messreihen aufzunehmen, die ausgehend von der Position mit dem höchsten Wert entlang einer Linie senkrecht zur berührbaren Oberfläche durchgeführt werden. Diese Messung ist auszuführen, bis der gemessene Wert kleiner als 1/10 des Wertes ist, der im Abstand von 20 cm von der Einrichtung gemessen wurde; siehe Bild 3.

Für die Erfüllung der speziellen Anforderungen (z. B. für einen Kunden oder ein Land) können zusätzliche Messungen durchgeführt werden.

5.3.3 Hintergrundfelder

Unmittelbar nach den Messungen ist die Einrichtung auszuschalten und die Pegel des Hintergrundfeldes sind zu messen und aufzuzeichnen.

Mit einem groben Abtasten des elektrischen oder magnetischen Feldes innerhalb des Messbezugsvolumens (siehe 5.4.1), wobei Spannung oder Strom ausgeschaltet sind, ist nachzuweisen, dass der Hintergrundpegel kleiner als 1/10 des niedrigsten Wertes ist, der an jedem der Hotspots bei der Messung im eingeschalteten Zustand gemessen worden ist.

Um störende Hintergrundfelder, die von äußeren, an den Prüfling angeschlossenen Kabeln verursacht werden, auf ein Minimum zu verringern, sollten auf der Hochspannungsseite nur ummantelte Drehstromkabel und auf der Niederspannungsseite nur Vierleiterkabel verwendet werden; siehe auch 5.4.

5.3.4 Umweltfaktoren

5.3.4.1 Messung des elektrischen Feldes

Umweltfaktoren (z. B. Luftfeuchte, Temperatur usw.) haben keinen nennenswerten Einfluss auf das elektrische Feld. Das Messgerät für das elektrische Feld kann jedoch merklich beeinflusst werden, wenn die Luftfeuchte ausreichend hoch ist und am Aufnehmer und an stützenden Teilen zur Betauung führt. Damit sichergestellt wird, dass die Messgeräte innerhalb ihrer festgelegten Umweltgrenzwerte betrieben werden, sind die Umweltfaktoren zu messen. Dabei sollte die Luftfeuchte besonders beachtet werden.

Als annehmbare Grenzwerte der Luftfeuchte für richtige Messungen werden erachtet:

- 60 % relative Luftfeuchte bei Verwendung eines normalen Stativs;
- 70 % relative Luftfeuchte bei Verwendung eines Offset-Stativs
(das Messgerät ist um 0,5 m von der vertikalen Achse des Stativs verschoben)

Werden diese Grenzwerte überschritten, dann müssen die Messungen als konservativ angesehen werden, weil die bei hoher Luftfeuchte gemessenen Werte höher als die bei niedriger Luftfeuchte sind, wobei ein und dieselbe Einrichtung mit den gleichen Spannungen betrieben wird.

Ebenso sind Messungen des elektrischen Feldes unter Regenbedingungen unzuverlässig.

5.3.4.2 Messungen des magnetischen Feldes

Umweltfaktoren (z. B. Luftfeuchte, Temperatur usw.) haben keinen nennenswerten Einfluss auf das magnetische Feld. Die Umweltfaktoren sind zu messen, um sicherzustellen, dass die Messgeräte innerhalb ihrer festgelegten Umweltgrenzwerte betrieben werden.

5.3.4.3 Weitere Bedingungen

Während der Messung dürfen sich zwischen der Feldquelle und den Messeinrichtungen keine Menschen oder Gegenstände befinden, welche die elektrischen Felder beeinflussen.

Merkliche Verzerrungen des magnetischen Feldes können nur von Gegenständen verursacht werden, die Werkstoffe mit hoher Permeabilität enthalten oder aus ihnen aufgebaut sind. Menschen beeinflussen das Magnetfeld nicht, so dass die Messgeräte bei der Durchführung der Messungen direkt von Personen gehalten werden dürfen.

Das Vorhandensein von Werkstoffen mit hoher Permeabilität in der Nähe der Feldquelle und/oder der Messgeräte muss im Messprotokoll angegeben werden.

5.4 Messaufbau

5.4.1 Allgemeines

Alle Messungen müssen mit Dreiphasen-Spannungs- oder -Stromversorgung durchgeführt werden. Der Messaufbau muss den folgenden Anforderungen genügen; siehe auch Bild 4:

Die zu prüfende Einrichtung muss von einem virtuellen Messbezugsvolumen (en: measurement reference volume – MRV) umgeben sein, in dem der Pegel des Hintergrundfeldes kleiner ist als 1/10 des niedrigsten Wertes, der an jedem der Hotspots bei der Messung im eingeschalteten Zustand gemessen worden ist.

Um störende Hintergrundfelder, die von äußeren, an den Prüfling angeschlossenen Kabeln verursacht werden, innerhalb des MRV auf ein Minimum zu verringern, dürfen auf der Hochspannungsseite nur ummantelte Drehstromkabel und auf der Niederspannungsseite nur Vierleiterkabel bis zu einem geeigneten Abstand außerhalb der MRV-Grenzen verwendet werden.

Die Hochspannungskabel und -verbindungen müssen denen unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen entsprechen.

Die Hochspannungskabel müssen senkrecht aus den Seiten der Einrichtung bis zum Erreichen der Grenzen des Messbezugsvolumens geführt werden.

Das Feld, welches von der Kurzschlussverbindung der Hochspannungskabelschleife erzeugt wird, darf nicht den Feldpegel an der Grenze des Messbezugsvolumens verändern. Deshalb ist ein ausreichender Abstand vom Kurzschlusspunkt zur MRV-Grenze einzuhalten.

Bei den fabrikfertigen Stationen für Hochspannung/Niederspannung müssen die Niederspannungskabel senkrecht aus den Seiten der Einrichtung bis zum Erreichen der Grenzen des Messbezugsvolumens geführt werden. Das Feld, welches von der Kurzschlussverbindung der Niederspannungskabel erzeugt wird, darf nicht den Feldpegel an der Grenze des Messbezugsvolumens verändern. Deshalb ist ein ausreichender Abstand vom Kurzschlusspunkt zur MRV-Grenze einzuhalten.

5.4.2 Zusätzliche Bestimmungen für fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung

5.4.2.1 Elektrisches Feld

Die Prüfspannung kann von der Niederspannungsseite bereitgestellt werden, wie es in Bild 5a dargestellt ist, oder alternativ von der Hochspannungsseite.

5.4.2.2 Magnetisches Feld

Der Strom I_1 in der Schleife des Hochspannungskabels und der Strom I_2 im Transformatorenkreis müssen phasengleich sein; siehe Bild 5b.

Für die Durchführung der Prüfung kann eine besondere Anordnung oder eine modifizierte Hochspannungsschaltanlage für die Verbindungen erforderlich sein.

6 Berechnungen

6.1 Allgemeines

Das elektrische und das magnetische Feld sind bei Betriebsfrequenz unabhängig voneinander. Somit können die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke in getrennten Untersuchungen berechnet werden.

Im Vergleich zu den Messungen besteht der Vorteil des Rechenweges darin, dass die Einrichtung ohne Störungen von Komponenten des Messaufbaus, wie Speisekabel, oder von Hintergrundfeldern oder Umweltbedingungen untersucht werden kann. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Berechnungen ausgeführt werden können, bevor die Einrichtung gebaut wird und gegebenenfalls Neukonstruktionen zur Verringerung der Kennwerte des äußeren Feldes möglich sind.

Diese technische Spezifikation gibt eine allgemeine Anleitung zur Modellierung dieser Einrichtung. Ausführliche Empfehlungen zu Komponenten, Quellen und Werkstoffen liegen jedoch außerhalb des Anwendungsbereiches wegen der Vielfalt von Einrichtungen und Konstruktionen, Lösungsverfahren, Software, Praktikern und verfügbaren Berechnungsressourcen.

6.2 Software

Für die Berechnungen von Feldern für die im Anwendungsbereich dieser technischen Spezifikation genannten Einrichtungen ist jede Software geeignet, welche die Biot-Savart-Beziehung oder die Maxwellschen Gleichungen entweder numerisch oder analytisch lösen kann.

Es gibt jedoch Software, die Einschränkungen hinsichtlich der Modellierung der Feldquellen oder Werkstoffen hat (beispielsweise werden metallische Oberflächen in Magnetfelduntersuchungen zu perfekten Leitern angenähert) und dies sollte beachtet werden, bevor eine Software für diesen Zweck ausgewählt wird.