

Elektromagnetische Feldsonden, E-Feld-Kalibrierung und Kalibrierung von E-Feldsonden

Die Erzeugung eines definierten elektromagnetischen Feldes ist ein komplexes Thema. Während sich die meisten EMV-Labore mit der Leistungsfähigkeit ihrer Absorberkabine beschäftigen, wird der Verwendung ihrer E-Feldsonde und der Kalibrierung nur wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Ziel dieses Dokuments ist es, einige der zentralen Themen in diesem Bereich zu beleuchten und Missverständnisse aufzuklären.

Was ist Anisotropie und wie beeinflusst sie EMV-Messungen?

Unter Anisotropie versteht man die Richtungsabhängigkeit der Messung in einem homogenen Feld. Dieses erscheint zunächst einmal trivial. Die Praxis zeigt jedoch, dass es zu 100% isotrope Feldsonden nicht gibt. Grundsätzlich müssen zwei Bauformen für Feldsonden unterschieden werden:

- a) abgesetzte Feldsonden, meist in Würfelform, die häufig über Lichtwellenleiter mit der Ausleseeinheit verbunden sind. Diese werden meist im stationären Betrieb eingesetzt.
- b) Feldsonden, die starr mit der Ausleseeinheit verbunden sind, meist durch ein ca. 30 cm langes Rohr oder ein flexibles Kabel. Diese Sonden werden häufig im mobilen Einsatz als sog. „Handhelds“ verwendet.

Feldsonden in Form eines Würfels weisen bessere Eigenschaften der Isotropie auf als Sonden, die über ein Rohr mit der Ausleseeinheit verbunden sind. Aber auch Feldsonden in Würfelform sind nicht ideal isotrop. In der Praxis sind Sonden für höhere Frequenzen über ein Rohr mit der Ausleseeinheit verbunden. Die Anisotropie von Feldsonden (Fehler ihrer Isotropie) kann bis zu 20 dB betragen. Hier stellt sich die Frage, warum üblicherweise deutlich bessere Isotropiewerte präsentiert werden. Hierfür gibt es zwei wesentliche Gründe. Entweder die Ausleseeinheit wird nicht dem Feld ausgesetzt, wie es bei der späteren Anwendung der Fall ist. Oder die Sonden werden zur Bestimmung ihrer Anisotropie auf falsche Art und Weise im vorhandenen Feld orientiert und gedreht, so dass nur die Rotationssymmetrie und nicht die Anisotropie bestimmt wird.

Wie kann man die Ergebnisse der RadiSense® mit denen anderer Sonden vergleichen?

Ein Vergleich der RadiSense® mit anderen Feldsonden ist nicht einfach, insbesondere dann, wenn beide Sonden sich in ihrer Bauform unterscheiden. Deswegen sind bei einem Vergleich nicht nur die genaue Methode und Orientierung der Sonde während der Kalibrierung (relativ zur Richtung des Feldes und der Richtung der Ausbreitung) zu berücksichtigen, sondern auch einflussreiche Unterschiede in ihrer Handhabung und Bauform.

Wenn ein EMV-Prüflabor versucht, Messwerte verschiedener Feldsonden zu vergleichen, müssen alle Aspekte von deren Kalibrierung berücksichtigt werden. Dies bedeutet, die erhaltenen Korrekturfaktoren müssen bei der Messwernerfassung berücksichtigt werden, die Sonden müssen in exakt der gleichen Orientierung platziert werden und die Anisotropie sowie die vollständige Messunsicherheit müssen berücksichtigt werden. Bei einigen Anwendern sind große Unterschiede zwischen den Messergebnissen aufgetreten. In allen Fällen war dies dadurch begründet, dass einer der genannten Faktoren nicht korrekt berücksichtigt wurde.

Was passiert außerhalb des spezifizierten Frequenzbereichs einer E-Feldsonde?

Jede E-Feldsonde ist für einen bestimmten Frequenzbereich spezifiziert und hat demzufolge ihre obere und untere Frequenzgrenze. Diese Grenzen sind definiert als die Frequenzen, ab der ein oder mehrere Parameter außerhalb einer Toleranz, z.B. von 3 dB liegen. In den meisten Fällen ist der Frequenzgang der Sonde der entscheidende Parameter. Außerhalb des spezifizierten Frequenzbereichs treten in der Praxis drei Möglichkeiten für den weiteren Verlauf des Frequenzgangs:

- 1) Die Kurve fällt ab.
- 2) Die Kurve verläuft gerade.
- 3) Die Kurve steigt an.

Im 2. Fall könnten die Sonden für einen größeren Frequenzbereich spezifiziert werden. Dieser Fall muss hier also nicht weiter diskutiert werden. In den anderen beiden Fällen sind die Messwerte außerhalb des spezifischen Frequenzbereichs mit einem nicht akzeptablen Fehler behaftet. Wenn die Kurve abfällt, werden vorhandene Signale oberhalb des spezifizierten Frequenzbereichs nicht ausreichend berücksichtigt. Wenn die Kurve ansteigt, werden vorhandene Signale oberhalb des spezifizierten Frequenzbereichs zu stark bewertet.

Tatsächlich geht es hier um die Grundlagen der EMV-Messtechnik. Wenn die Sonde bis zu einer bestimmten Frequenz spezifiziert ist, sollten entweder der Verstärker oder die Antenne auf die gleiche oder eine niedrigere Frequenz limitiert sein. Wenn dies nicht der Fall ist, sollte ein Tiefpassfilter eingesetzt werden. In vielen Fällen sind die Harmonischen, die durch den Verstärker erzeugt werden, das wirkliche Problem. Zum Beispiel haben Wanderfeldröhren(TWT)-Verstärker nur eine geringe Unterdrückung der harmonischen Anteile von ca. -5 dBc. Das heißt diese Verstärker sind für EMV-Prüfungen ohne Verwendung von Tiefpassfiltern nicht geeignet, obwohl dies noch weit verbreitete Praxis in vielen EMV-Labors ist.

Sollte die Linearität einer E-Feldsonde bei allen Frequenzen gemessen werden?

In der Regel werden drei Größen einer E-Feldsonde kalibriert: der Frequenzgang, die Linearität und die Isotropie. Die Isotropie ist im ersten Abschnitt dieses Dokuments behandelt worden. Der Frequenzgang ist der frequenzabhängige Amplitudengang bezogen auf den wahren Wert über den gesamten Arbeitsbereich einer E-Feldsonde. Es existiert beispielsweise ein Feld bei 100 MHz mit einer Feldstärke von 10 V/m, die Sonde misst jedoch 11 V/m, während sie bei 500 MHz ein Feld von 8 V/m misst. Bei jeder Frequenz wird der von der Sonde gemessene Wert eine Abweichung vom wahren Wert aufweisen. Dies nennt man den Frequenzgang einer E-Feldsonde. Während der Kalibrierung einer E-Feldsonde werden diese frequenzabhängigen Abweichungen registriert und in einer so genannten Korrekturtabelle gespeichert. Die Kalibrierung des Frequenzgangs einer isotropen E-Feldsonde wird für alle drei Orientierungen der Sonde durchgeführt. Die Korrekturtabelle für jede Orientierung der Sonde sollte in die Messsoftware eingegeben werden, um gültige Messungen mit minimaler Messunsicherheit (wie im Kalibrierprotokoll dokumentiert) sicherzustellen. D.A.R.E! Calibrations führt akkreditierte Kalibrierungen durch und stellt dem Kunden die Korrekturtabelle zur Verfügung.

Die Linearität einer E-Feldsonde beschreibt das Anzeigeverhalten einer Sonde bei verschiedenen Feldstärken. Da die Messung einer E-Feldsonde auf der Gleichrichtcharakteristik des Diodengleichrichters basiert, ist die Linearität weitgehend frequenzunabhängig. Aus diesem Grund wird die Linearität einer E-Feldsonde bei verschiedenen Feldstärken, aber nur bei einer Frequenz kalibriert. Es wird empfohlen die Sonde in dem Feldstärkebereich, in dem sie üblicher Weise verwendet wird, zu kalibrieren. Einige Normen wie die EN 61000-4-3 schreiben vor, dass die Sonde beim doppelten Wert der in der EMV-Prüfung verwendeten Feldstärke kalibriert werden muss.

Genauso wichtig ist es, bei Kalibrierungen Messbereichsumschaltungen zu berücksichtigen. Wenn beispielsweise eine Sonde bei 10 V/m ihren Messbereich wechselt, ist es nicht ratsam die Sonde bei genau 10 V/m zu kalibrieren, da dies zu deutlichen Abweichungen führt. In diesem Fall wäre es günstiger eine Kalibrierfeldstärke zu wählen, bei der die Sonde den Messbereich nicht wechselt z. B. bei 30 V/m. In diesem Fall ist es entscheidend, den gleichen Bereich wie bei den EMV-Messungen zu wählen. Die RadiSense® hat keine einstellbaren Messbereiche und daher auch keine damit verbundenen Probleme.

Sollte das Verhalten einer E-Feldsonde in modulierten Feldern gemessen werden?

Bei Messungen im Bereich des technischen Arbeitsschutzes ist es oftmals erforderlich, auch in modulierten Feldern (z.B. von Rundfunksendern) zu messen. Der Korrekturfaktor einer Sonde kann unter Umständen sehr stark von der Feldstärke und dem Modulationsgrad abhängen. Besondere Aufmerksamkeit muss in diesem Zusammenhang den pulsförmigen Feldern gewidmet werden.

Was ist eine RVA-Akkreditierung?

Eine Akkreditierung ist der effizienteste Weg um zuverlässige und rückführbare Kalibrierungen sicherzustellen. In Europa gibt es verschiedene Akkreditierungsstellen, mindestens eine pro Land. Bekannte Akkreditierungsstellen sind der DKD (Deutschland), die UKAS (Großbritannien), der COFRAC (Frankreich) und der RVA (Niederlande). Diese nationalen Akkreditierstellen sind Mitglieder der European Accreditation (<http://www.european-accreditation.org>), der europäischen Kooperation für Akkreditierungen. Alle diese Akkreditierungsstellen erkennen sich und die Prüf-, Kalibrier- oder Zertifizierungsergebnisse der von ihnen akkreditierten Labore und Institution untereinander an. Da D.A.R.E!! Calibrations vom niederländischen Rat für Akkreditierungen (RVA, www.rva.nl) akkreditiert ist, werden die Kalibrierergebnisse der akkreditierten Kalibrierungen bei D.A.R.E!! Calibrations von allen anderen europäischen Akkreditierstellen als gleichwertig akzeptiert.

Zusammenfassung

Aus den vorhergehenden Fragen und Antworten geht hervor, dass es eine schwierige und komplexe Aufgabe ist, bei der Messung elektromagnetischer Felder zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. Es ist entscheidend, dass eine E-Feldsonde verwendet wird, die für die Anwendung geeignet ist und die unter Akkreditierung so kalibriert wurde, wie es Ihrem üblichen Gebrauch im Messalltag entspricht.

Mit dem Kalibrierlabor muss der Nutzer daher folgenden Punkte klären und erörtern:

- Für welche felderzeugenden Einrichtung wird die Sonde benutzt? (Absorberhalle, Wellenleiter, Antenne, etc.)
- In welchem Frequenzbereich wird die Sonde üblicherweise eingesetzt?
- Wie groß ist der Dynamikbereich?
- Sind Messungen in einem modulierten Feld erforderlich?
- Werden bei Einsatz der Sonde zusätzliche Anbauteile wie z. B. Stative verwendet?
- Welches Datenformat zur Dokumentation der Kalibrierdaten ist erforderlich?

Nachdem die E-Feldsonde kalibriert wurde, müssen die Kalibrierergebnisse im Rahmen der EMV-Messungen angewendet werden.

Unterschiedliche Typen von Feldsonden sind nicht direkt vergleichbar. Im Allgemeinen sind abgesetzte Sonden besser als Sonden, die über ein Rohr mit der Ausleseinheit verbunden sind.

D.A.R.E!! Development

Als Technologieführer arbeitet D.A.R.E!! Development intensiv daran, hochgenaue Feldsonden zu entwickeln, zu liefern und neue Technologien zu erschließen, die für EMV-Messungen genutzt werden können und zuverlässige Messergebnisse liefern.

D.A.R.E!! Calibrations

D.A.R.E!! Calibrations ist ein akkreditiertes Kalibrierlabor und spezialisiert auf HF- und EMV-Kalibrierungen.

Mehr Informationen finden Sie unter www.dare.nl.