



AKTUELL SICHERHEIT IN DER ELEKTROMOBILITÄT

Erkennung und Beherrschung von Isolationsfehlern in der Elektromobilität

Jeder kennt den Umgang mit hohen Spannungen im Haushalt. Die dafür vorgesehenen Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag, speziell bei indirektem Berühren, sind den meisten Menschen vertraut. Zumal man bei einer sehr kurzen Berührung der 230 V Wechselspannung (AC) in der Regel mit einem „Schrecken“ davon kommt. Welche Schutzmaßnahmen müssen bei den heute üblichen 300 - 600 V DC-Systemen und in Zukunft 1.000 V in einer Fahrzeugumgebung vorgesehen werden? Die Isolationsfehler zu beherrschen und zu erkennen ist eine der Herausforderungen im Fahrzeug und in den Ladeeinrichtungen.

Übersicht

Unter „Fehlerstrom“ versteht man den Teil des Stromes, der nicht zur Quelle zurück fließt. Ein Fehlerstrom wird im geerdeten Netz durch einen Isolationsfehler hervorgerufen. Je nach Anlage sind verschiedene Fehlerströme zulässig, ohne dass Einrichtungen eine Warnung oder Abschaltung auslösen. Haushaltsübliche geerdete TN-/TT-Systeme werden i. d. R. mit einer 30 mA-Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) Typ A (wechsel- und pulssensitiv) überwacht. Im Gegensatz dazu erzeugt der erste Isolationsfehler im ungeerdeten IT-System noch keinen Fehlerstrom. Da eine elektrische Verbindung der aktive Leiter zur Erde (Masse) fehlt, gibt es keinen geschlossenen Stromkreis. Dabei wird der erste Fehler mit Hilfe eines Isolationsüberwachungsgerätes erkannt, um eine Gefährdung bei einem zweiten Fehler an einem anderen aktiven Leiter zu vermeiden.

Das Hochvoltsystem der Elektrofahrzeuge ist bis zum Anschluss an eine geerdete Ladeeinrichtung, ebenfalls als ein IT-System zu sehen. Hier wird mit einem Isolationsüberwachungsgerät (IMD) der Isolationswiderstand des Systems überwacht. Wird es an einer

Ladeeinrichtung angeschlossen, so wird daraus ein geerdetes System und benötigt andere netzseitige Schutzmaßnahmen, wie z. B. eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD). Das Fahrzeug ist, wenn es an ein Ladegerät zuhause angeschlossen wird, eine elektrisch komplexe Fehlerquelle. Die heute üblichen Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) Typ A wirken dann nur noch eingeschränkt. Mit allstromsensitiven oder reinen DC-Fehlerstrom-Überwachungseinrichtungen können auch diese komplexen Fehlerströme des Elektrofahrzeugs erkannt werden und entsprechend den Ladevorgang im Fehlerfall unterbrechen. Hier besteht auch normativ noch Handlungsbedarf, um Herstellern von Elektrofahrzeugen und Ladeeinrichtungen eine sichere und kompatible Auslegung ihrer Entwicklung zu geben.

Hier geht es insbesondere um „Schutzmaßnahmen gegen den elektrischen Schlag nach IEC 60364-4-41 (DIN VDE 0100-410)“, z. B. Schutzvorkehrungen, Schutzmaßnahmen (Abschaltung der Stromversorgung, Schutzimpedanz, etc.), Koordination der elektrischen Betriebsmittel sowie besondere Bedienungs- und Wartungsbedingungen.

Isolationskoordination

Die Isolationskoordination ist ein wesentlicher Bestandteil zur Vermeidung von Isolationsfehlern während der Betriebszeit einer Anlage. Eine unsachgemäße Isolationskoordination führt zu Spannungsüberschlägen oder Elektromigrationen und damit verbundenen Fehlerströmen. Elementar bei der Entwicklung von elektrischen Betriebsmitteln ist, dass die Isolationskoordination nach IEC 60664 oder IEC 61010 beachtet wird. Durch Einhaltung der Luft- und Kriechstrecken, sowie die Bewertung des Einsatzortes wird ein hohes Maß an Schutz vor elektrischem Schlag gewährleistet. Mögliche Isolationsfehler und Fehlerströme werden dadurch minimiert. Des Weiteren ist auf eine minimale Ableitkapazität zu achten. Diese erhöht zusätzlich den Blindstrom in AC-Systemen (Antrieb) und bergen durch die gespeicherte Energie eine hohe Gefährdung bei Berührung in abgeschalteten DC-Netzen.

Isolationsfehler sind im Fahrzeug und in den Ladeeinrichtungen beherrschbar. Diese werden in der Entwicklung der Geräte durch entsprechende Isolationskoordination und in der Auslegung des Bordnetzes sichergestellt. Zusätzliche mögliche Maßnahmen (Einsatz von Isolationsüberwachungsgeräten, Fehlerstrom-Überwachungseinrichtungen etc.) werden angewendet, um die Sicherheit auch im Fehlerfall zu gewährleisten.

Isolationsüberwachung

In ungeerdeten Netzen tritt nur ein sehr geringer Fehlerstrom gegen Erde im ersten Fehlerfall auf, da durch die fehlende Erdverbindung der Stromkreis im Fehlerfall nicht geschlossen wird. Hier wird mit einem aktiven Isolationsüberwachungsgerät die Isolation überwacht und Isolationsfehler werden erkannt. Da ein eventueller zweiter Fehler an einem anderen aktiven Leiter den Stromkreis schließen kann (erst dann fließt ein Fehlerstrom), muss der erste Fehler schnellstmöglich erkannt und gemeldet werden. Im ersten Fehlerfall entsteht in einem IT-System zunächst keine gefährliche Situation, daher wird i. d. R. die Anlage NICHT abgeschaltet.

Als typische Anwendung im Hochvoltbordnetz des Fahrzeuges wird ein Isolationsüberwachungsgerät (IMD) nach IEC61557-8 im DC-Zwischenkreis eingesetzt. Das IMD kann batterie-seitig oder fahrzeugseitig verbaut sein. Ein einziges IMD überwacht dabei das gesamte, galvanisch verbundene, Hochvoltnetz des Fahrzeuges. Ein weiteres IMD ist in DC-Ladesäulen verbaut. In seltenen Fällen auch in AC-Ladesäulen. Es ist dabei fahrzeugseitig darauf zu achten, dass das IMD während des Ladevorganges mit einem galvanisch nicht getrennten Ladegerät deaktiviert wird. Wenn zwei IMDs in einem Netz aktiv sind kann es zu Störungen kommen.

Im Bild 1 ist ein möglicher Verlauf des Isolationswiderstandes über die Zeit dargestellt. Sinkt der Isolationswiderstand unter ein erstes Warnniveau, können Maßnahmen zur Beseitigung getroffen oder eingeplant werden, ohne die Anlage abzuschalten.

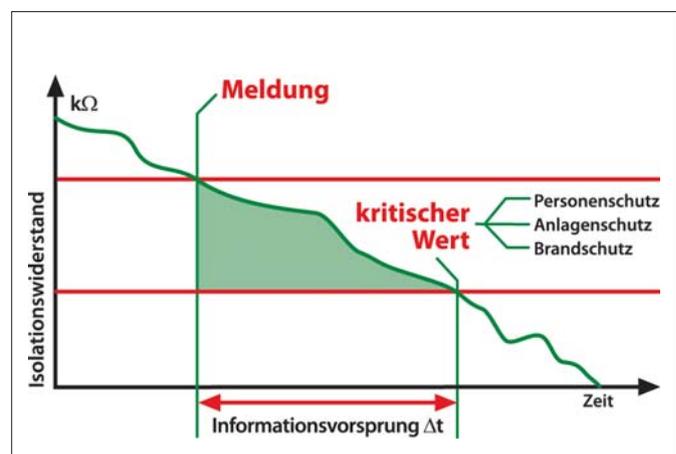


Bild 1: Frühzeitige Warnmeldung in IT-Netzen (Quelle: Bender).

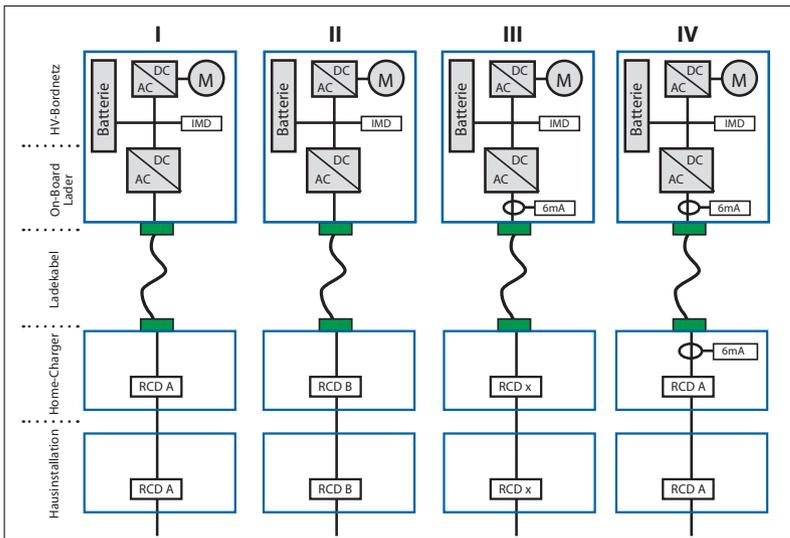


Bild 2: Exemplarische Darstellung der Schutzmaßnahmen vor Gleichstromfehlern, ausgelöst durch Fehler im Elektrofahrzeug (Quelle: Bender).



Differenzstrommessung

Die Differenzstrommessung wird bei den AC-Lademodi 1-3 zur Fehlerstromerkennung eingesetzt. Im Regelfall werden hierbei RCDs vom Typ A in der Ladesäule genutzt. Wird ein RCD Typ A durch einen Gleichfehlerstrom überlagert, verschiebt sich seine Auslösekennlinie bis zur völligen „Erblindung“ der RCDs. Die Schutzfunktion ist in diesem Fall nicht mehr gewährleistet. Normativ geht man von einer Fehlfunktion des RCD Typ A ab 6 mA Gleichfehlerstrom aus. Entsprechende Maßnahmen zur Sicherstellung der Funktion sind zu treffen. Eine mögliche Maßnahme ist der Einsatz einer galvanischen Trennung des Ladegerätes im Fahrzeug. Es ist außerdem möglich mit einer erweiterten Differenzstromüberwachung durch eine RCMU (Residual Current Monitoring Unit) sehr geringe Fehlerströme von wenigen Milliampere im DC-Bereich zu erkennen und durch eine Abschaltung des Ladevorganges diesen Fehlerstrom zu unterbrechen, um den RCD Typ A zu schützen. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz eines RCD Typ B (allstromsensitiv), hierbei ist darauf zu achten, dass kein RCD Typ A in der Installation nachgeschaltet ist, da dadurch 30 mA DC Fehlerstrom möglich sind, ohne dass der RCD Typ B auslöst, aber der RCD Typ A jedoch bereits seine Funktionsfähigkeit verliert. Wird dies nicht getan, so können im Fahrzeug auftretende Fehlerzustände eine Rückwirkung auf die Sicherheitstechnik im ganzen Haus haben und den Fehlerstromschutz des Wohnhauses außer Kraft setzen.

LITERATUR

- [1] Schutztechnik mit Isolationsüberwachung 3. Auflage 2011 – Wolfgang Hofheinz, VDE Verlag
- [2] Elektrische Sicherheit bei der Ladung von Elektrofahrzeugen – Harald Sellner, Wolfgang Hofheinz, Bender GmbH & Co. KG
- [3] Technische Information 13 – Winfried Möll, Mario Lehr, Bender GmbH & Co. KG

In einem galvanisch nicht getrennten System, sind Gleichstromfehler > 6 mA unter Verwendung eines RCD Typ A nicht zulässig. Die vier hier dargestellten Beispiele in Bild 2 beschreiben die unterschiedlichen Ausführungsformen.

- I. Das Fahrzeug hat ein galvanisch getrenntes Ladegerät.** DC-Fehler sind somit auszuschließen. Die Verwendung von RCDs Typ A ist möglich.
- II. Das Fahrzeug hat ein Ladegerät ohne galvanische Trennung.** Es sind RCDs Typ B erforderlich. Dabei ist darauf zu achten, dass auch in der Hausinstallation ein RCD Typ B verwendet wird.
- III. Das Fahrzeug hat ein Ladegerät ohne galvanische Trennung.** Die 6 mA DC Überwachung und Abschaltung ist im Fahrzeug. Damit ist das Laden an „fremden Ladesäulen“ ohne RCD Typ B möglich.
- IV. Das Fahrzeug hat ein Ladegerät ohne galvanische Trennung.** Die 6 mA DC Überwachung und Abschaltung ist im Fahrzeug und in der Ladesäule. Damit ist ein Laden des Fahrzeuges an „fremden Ladesäulen“ möglich und die Ladesäulen können Fahrzeuge mit unbekanntem „On-Bord-Ladegeräten“ laden. ■

Dipl.-Ing. Winfried Möll
T-MIS