

Herausforderungen und Lösungen

# Stoßspannungsprüfung von Elektrofahrzeug-DC-Ladestationen

Dieser Artikel beleuchtet eine alte Herausforderung, die aber in der EMV-Test-Welt weitgehend unbekannt ist.

Fall	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Schaltung $Z(EUT) = 25 \Omega$			
R(parallel)	-	20 $\Omega$	100 $\Omega$
Max U (Diode)	-	400 V	400 V
U (EUT)			
Max Min	431.64 V Peak -34.82 V Peak	460.4 V Peak -20 V Peak	461.81 V Peak 0 V ✓
I (EUT)			
Max Min	17.26 A -1.39 A	18.42 A -0.81 A	18.51 A 0 A ✓

Level-3-DC-Schnellladestationen können Elektrofahrzeuge innerhalb von 20...30 min vollständig aufladen. Daher benötigen diese eine hohe Spannung und viel Strom (>480 V und >100 A).

**Während der Prüfung**

der Stoßspannung gemäß IEC 61000-4-5 einer solchen Ladestation für die CE-Qualifizierung (z.B. gemäß IEC 61851-21-2) können ungewollte Ausfälle und Unterbrechungen der DC-Ladevorgänge verursacht werden, vor allem durch die Verwendung der in der Norm IEC 61000-4-5 definierten Koppel- und Entkoppelnetzwerke (CDNs) für Ströme bis zu 200 A oder höher. Dabei wurde festgestellt, dass ein ein-

zelner Wert der Entkopplungsinduktivität nicht für den gesamten Strombereich von 0 bis 200 A verwendet werden kann.

Ein Elektrofahrzeug (EUT), das beispielsweise direkt mit 400 V DC und 200 A versorgt wird, erfährt einen bemerklichen Spannungsabfall, wenn es über ein CDN mit einer 1,5-mH-Ent-

kopplungsinduktivität versorgt wird. Daher weist die Norm niedrigere Werte für die Entkopplungsinduktivität aus, wenn der EUT-Nennstrom höher wird.

Obwohl die Norm dieses Problem erkannt hat und durch die Reduzierung der Entkopplungsinduktivität darauf reagiert hat, wurden trotzdem einige Probleme aus dem Feld gemeldet, welche im Jahr 2017 von der Norm adressiert wurden. Dabei wurden Methoden zur Vermeidung von Schwingungen oder Fehlfunktionen in der Stromversorgung bei der Anwendung des Stoßspannungstests über CDN eingeführt.

**Die Problemstellung:**

DC-Ladestationen können beim Laden einer Batterie trapezförmige PWM-Stromimpulse verwenden. In Bild 1 werden eine hypothetische Ladestation und ein EUT betrachtet. Die nachfolgenden theoretischen Parameter wurden zwecks Simulation verwendet:  $U_s = 400 \text{ V DC}$  (PWM moduliert:  $t_{rise}/t_{fall} = 500 \mu\text{s}$ ,  $t_{on} = 10 \text{ ms}$ ,  $t_{periode} = 15 \text{ ms}$ ,  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $C_s = 5 \mu\text{F}$ ,  $C_{EUT} = 5 \mu\text{F}$ ,  $Z_{EUT} = R_{EUT} = 25 \text{ Ohm}$ ).

Dafür sind  $U_{EUT}$  und  $I_{EUT}$  in Bild 2 dargestellt. Die an das EUT gelegte Spannung weist keinerlei Über- oder Unterschwingen auf. Der Leckstrom durch jeden Filterkondensator ist sehr gering.

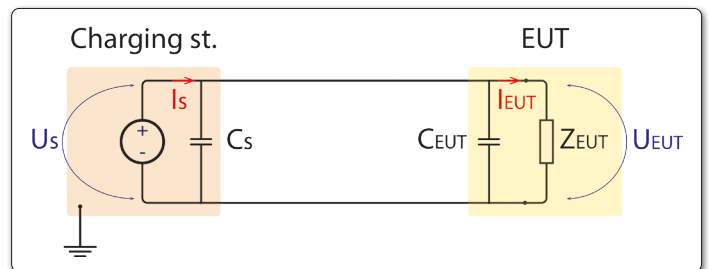
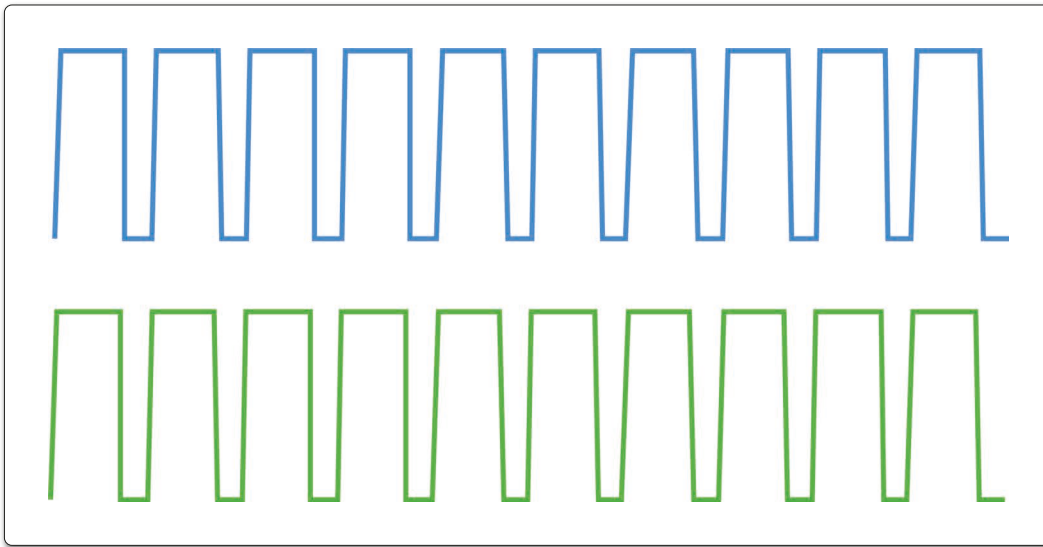


Bild 1: Vereinfachtes Modell für Ladestation und EV-Eingangsschaltung

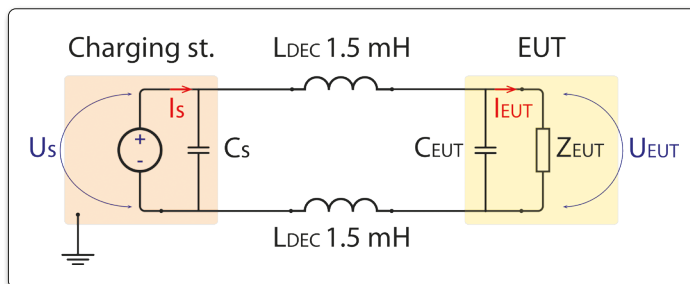


**Bild 2 a):  $U_{EUT}$  ohne zwischengeschaltetes CDN, b):  $I_{EUT}$  ohne zwischengeschaltetes CDN**

Wie in Bild 3 dargestellt, wird ein  $C_{DN}$  mit  $L_{DEC} = 1,5$  mH pro Leitung in die Schaltung aus Bild 1 zwischengeschaltet. Dies führt zu Verzerrungen der EUT-Spannung und des Stroms, wie

in Bild 4 dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass sowohl Spannungs- als auch Stromwellenformen beginnen, Überschwingungen und Unterschwingungen aufzuweisen. Die Einführung

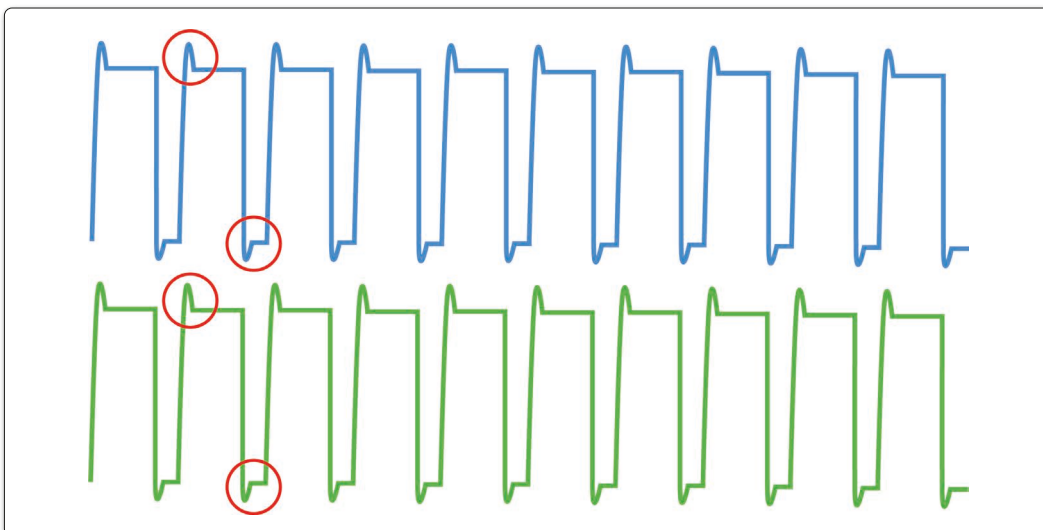
von Entkopplungsinduktivitäten in den Stromkreis bewirkt eine positive Spannungsspitze von 415 V statt 400 V und eine negative Spannungsspitze von -17,25 V, wobei letztere das Potenzial hat, Fehler zu erzeugen und im schlimmsten Fall den Ladevorgang zu unterbrechen. Die negative Stromspitze aus b) beträgt -1,38 A und kann wie bei der Spannung Fehler erzeugen und zu einer Unterbrechung des Ladevorgangs führen.



**Bild 3: Modell für Ladestation und EV-Eingangsschaltung mit zwischengeschalteten Entkopplungsinduktivitäten**

#### Normansätze zur Problemlösung:

Die beiden im Änderungsantrag 1/2017 der IEC 61000-4-5 Ed. 3



**Bild 4: a)  $U_{EUT}$  mit zwischengeschaltetem CDN, b)  $I_{EUT}$  mit zwischengeschaltetem CDN**

zur Behebung resp. Dämpfung der Unterschwingungen empfehlen entweder die Reduzierung des Entkopplungsinduktivitätswertes (d.h. die Verwendung eines CDN mit höherem EUT-Nennstrom) oder die Einführung eines Dioden-Widerstands-Netzwerks in das Setup:

1) Verwendung eines CDN-Modells mit einer aktuellen Stromfähigkeit, die höher ist als die vom EUT

2) Platzieren eines Dioden-Widerstands-Netzwerks zwischen Ladestation und CDN

Zu 1): Die Verwendung eines CDNs mit höherer EUT-Stromfähigkeit wurde simuliert. Das Verringern jeder Entkopplungsspule von 1,5 auf 0,3 mH hat zwar die negativen Verzerrungen reduziert, aber nicht vollständig aufgehoben. Die Maßnahme kann durchaus in vielen Fällen eingesetzt werden. Die flexiblen CDNs mit wählbaren Strombereiche von EMC PARTNER eignen sich hervorragend für diese Applikation (Bild 5).

Zu 2): Um maximale Flexibilität bei der Prüfung unabhängig von Prüflingscharakteristik und Setup zu erreichen, empfiehlt es sich, ein Netzwerk mit frei wählbaren Widerstandswerten zu verwenden (Bild 6). Dabei eignet sich das DC-DC32 Dioden-Widerstands-Netzwerk mit einstellbaren Widerständen von EMC PARTNER bestens für diese Applikation. Das Netzwerk ist nur für mit Gleichstrom versorgte Geräte geeignet und hat die Aufgabe, die Änderung der Stromrichtung (negative Spannung und negativer Strom an den EUT-Klemmen) an der fallenden Flanke der PWM-Gleichspannung zu verhindern. Der Parallelwiderstand muss hoch genug sein, um die Rückführung von Energie zur Stromquelle zu verhindern und eine mögliche negative Spannung an den EUT-Anschlüssen zu beseitigen, aber niedrig genug, um eine mögliche Überspannung zu verhindern.

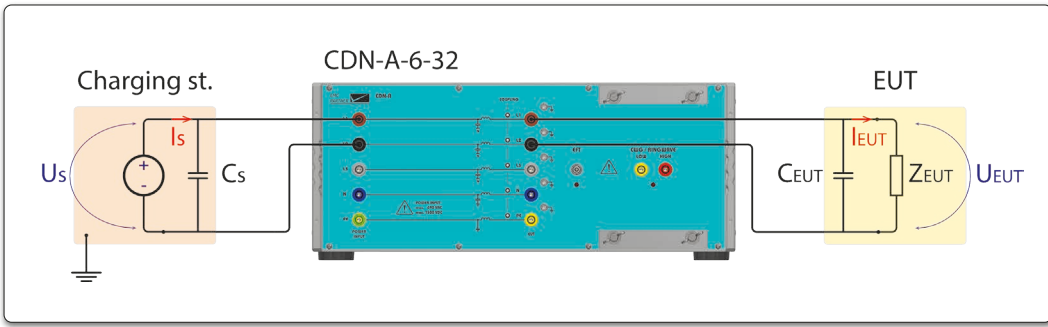


Bild 5: Modell für Ladestation und EV-Eingangsschaltung mit zwischengeschalteten CDN-Entkopplungsinduktivitäten

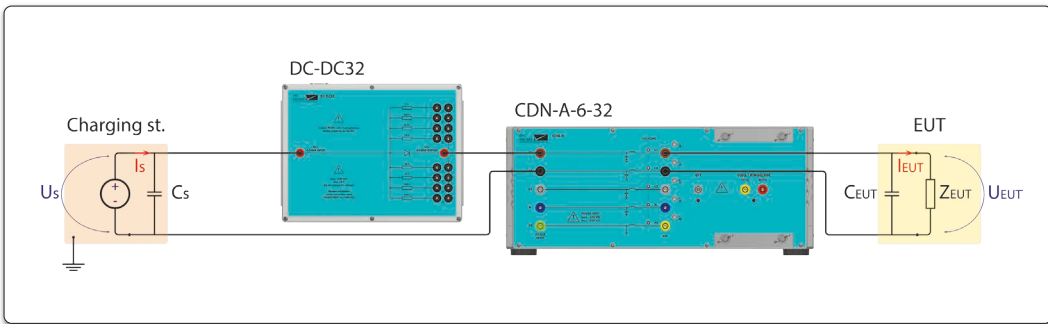


Bild 6: Modell für Ladestation und EV-Eingangsschaltung mit zwischengeschalteten CDN-Entkopplungsinduktivitäten und Dioden-Widerstands-Netzwerk

Für das in diesem Artikel betrachtete Beispiel wurde das Problem Unterschwingung und somit negativer EUT-Spannung und -Strom durch das Zwischenschalten eines Dioden-Widerstands-Netzwerks mit einem Widerstand von 100 Ohm zwischen dem positiven Anschluss der Stromquelle und der Entkopplungsdrossel gelöst. Dabei wurde die Verzerrung aus der negativen Spannung und dem negativen Strom vollständig eliminiert.

Es soll angemerkt werden, dass bei Widerstandswerten höher als 100 Ohm elektrische Potentialspitzen von über 600 V gemessen wurden. Dies erfordert ein hohes Maß an Isolierung. Es wird jedoch empfohlen, den niedrigsten Wert des Parallelwiderstands zu verwenden, welcher die Unterschwingungen an den EUT-Anschlüssen vollständig eliminiert. ◀

**Zur Untersuchung verschiedener Widerstandswerte**

bezüglich Über- und Unterschwingen wurden die nachfolgenden Fälle mit unterschiedlichen Widerstandswerten simuliert:

- 1) Schaltung aus Bild 3 und Wellenformen aus Bild 4 als Referenz
- 2) Schaltung aus Bild 6 mit Widerstand 20 Ohm
- 3) Schaltung aus Bild 6 mit Widerstand 100 Ohm

Im Fall 1) weisen Spannungs- und Stromwellenformen des EUTs sowohl Überschwingungen von 431.34 V als auch Unterschwingungen von -34.82 V durch die Einführung der Entkoppelinduktivitäten auf. Der EUT-Strom erreicht 17,26 A (positive Spitze, im Verhältnis zu erwarteten 16 A Dauerpegel) und -1,39 A (negative Spitze). Dies kann während des Tests zu einer Fehlfunktion des EUTs führen. Im Fall 2) wurde ein Dioden-Widerstands-Netzwerk mit  $R_{parallel} = 20$  Ohm eingeführt, um die Verzerrungen

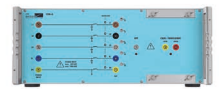
zu beseitigen. Dies hat dazu geführt, dass die positiven Verzerrungen erhöht wurden (460,4 V und 18,51 A), aber dafür wurden die negativen Verzerrungen verringert (-20,5 V und -0,81 A), wobei anzumerken ist, dass die negativen Verzerrungen immer noch vorhanden sind. Im Fall 3) wurde  $R_{parallel}$  auf 100 Ohm erhöht, um die Schwingungen zu beseitigen. Das hat dazu geführt, dass die Überschwingungen weiter erhöht wurden, die Unterschwingungen wurden jedoch vollständig eliminiert, wie in der Tabelle ganz klar zu sehen.

**Schlussfolgerung:**

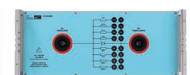
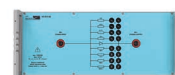
Dieser Artikel bietet eine theoretische Erläuterung der Änderungen in der Norm IEC 61000-4-5 Ed. 3. Einige Elektrofahrzeug-Produktnormen könnten eine maximale zulässige Flankensteilheit der Fahrzeugladespannung von 20 V/ms verlangen. In diesem Fall sollten die Schwingungen geringer sein als die aus dem betrachteten theoretischen Beispiel (Flankensteilheit beträgt 800 V/ms).



IMU-MGS und MGE-Generatoren und Zubehör



CDN-M- und CDN-A-Koppel- und Entkoppelnetzwerk



Widerstands-Dioden-Netzwerk