



Bild: Petair - Fotolia.com

01 Die Ladetechnik in E-Fahrzeugen hat an Qualität zugenommen

Filtereinsatz beim Laden von E-Mobilen

Bezug nehmend auf die Forschungsstudie „Power Quality in der Elektromobilität – Auswirkungen der Ladeinfrastruktur von Elektrofahrzeugen auf die Netzqualität“ aus dem Jahr 2013 erfüllten fünf der 20 untersuchten E-Mobile, also 25 %, die gültigen Normen und Anschlussbedingungen nicht. Die Ladetechnik von heute verzeichnet eine deutliche Verbesserung im Hinblick auf Power Quality beim Laden von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen. Die sogenannte Power Factor Correction, kurz PFC, sorgt vermehrt dafür, dass geforderte Standards eingehalten werden können.

Text: Timo Thomas, Dennis Kampen, Peter A. Plumhoff

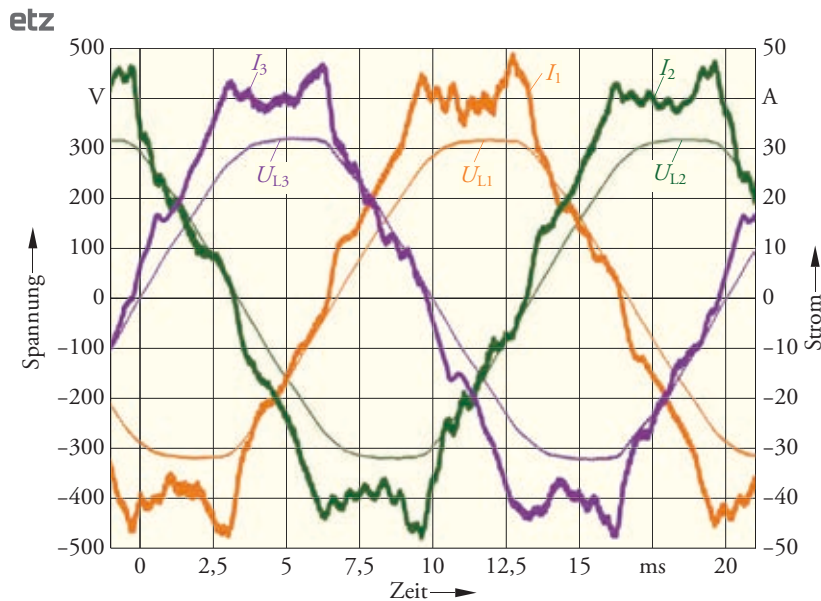
Die Studie „Power Quality in der Elektromobilität – Auswirkungen der Ladeinfrastruktur von Elektrofahrzeugen auf die Netzqualität“ [1] zeigte, dass im Jahre 2013 circa 25 % aller in diesem Projekt gemessenen E-Mobile, unzulässige Oberschwingungsströme während der Ladevorgänge erzeugten.

Heutzutage hat die Ladetechnik in den E-Fahrzeugen an Qualität zugenommen (Bild 1). Auch die Grenzwertüberschreitungen sowie Normabweichungen sind geringer geworden. Die weiterhin am häufigsten auftretende, nicht

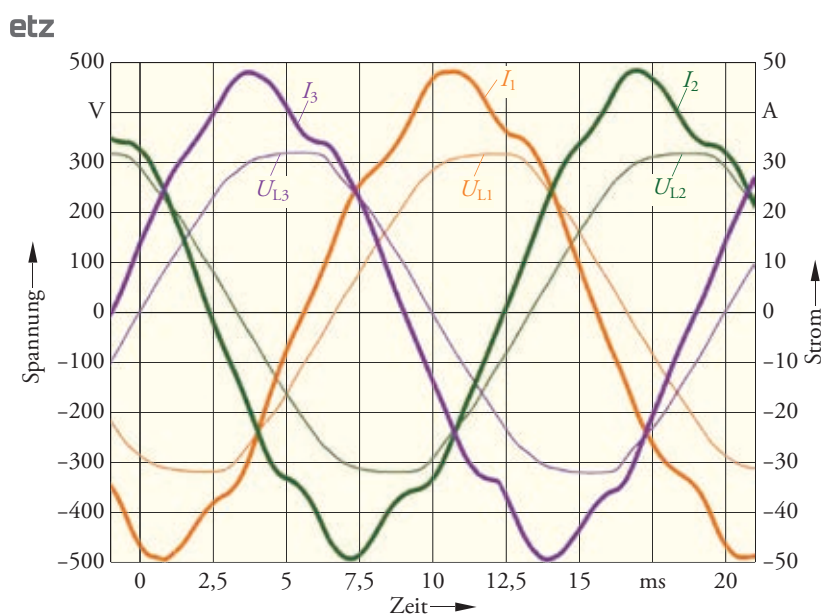
eingehaltene Anschlussbedingung an das öffentliche Netz ist die Unsymmetrie beim einphasigen Laden von Elektrofahrzeugen an deren Ladestation. Zum Teil werden hier einphasige Ladeleistungen von mehr als 4,6 kW erreicht.

Gleichrichterschaltungen verursachen Oberschwingungsströme

Die größten Oberschwingungsströme treten jedoch bei umgebauten E-Mobilen auf. Diese entstehen, wenn einfache Gleichrichterschaltungen aus Dioden mit kapazitiver bzw.



02 Ladestrom E-Mobil 1



03 Ladestrom E-Mobil 1 mit Oberschwingungsfiter für 32 A

induktiver Glättung im DC-Kreis eingesetzt werden. Die kapazitive Glättung tritt bei einphasigem Anschluss, in der Größenordnung 2 kW, sowie bei dreiphasigem Anschluss mit 16 A und einer Ladeleistung von 7 kW auf. Die induktive Glättung wird bei größeren Ladeleistungen, etwa ab 20 kW, eingesetzt. E-Mobile, die zu Beginn als Elektrofahrzeuge konzipiert wurden, haben während ihrer Ladevorgänge meist, in Bezug auf die einschlägigen Normen, nur kleine Oberschwingungsüberschreitungen.

Seit dem Jahr 2014 wurden und werden an den Ladesäulen der Technischen Hochschule Bingen (THB) viele unterschiedliche E-Mobile geladen. Ein großes Event fand

während der „Wave 2016“ statt, bei deren Zwischenstopp an der THB über 50 verschiedene Ladevorgänge unterschiedlicher Fahrzeuge in wenigen Stunden aufgezeichnet werden konnten.

Während all dieser Analysen wurde immer wieder die Frage laut, ob mit bekannten Mitteln die wenigen normverletzenden Ladevorgänge korrigiert werden könnten. Hierbei geht es hauptsächlich um die Reduzierung von Oberschwingungen durch passive Filterung. Als einfachste Möglichkeit wird der Einsatz einer sogenannten 4 %- u_k -Netzdrrosselspule benannt. Als einen weiteren Ansatz werden EMV-Filter und Oberschwingungsfilter betrachtet.

Klar ist in jedem Fall, dass diese drei Betriebsmittel ein unsymmetrisches Laden am Netz nicht vollumfänglich verhindern können. Erstaunlicherweise gibt es einige E-Mobile, die einphasig mit einem Ladestrom von circa 30 A, was einer einphasigen Ladeleistung von circa 7 kW entspricht, geladen werden. Der Ladestrom erfüllt die Bedingungen nach VDN Technischen Regeln, kurz D-A-CH-CZ [2]. Ein Filter ist daher nicht zwingend erforderlich.

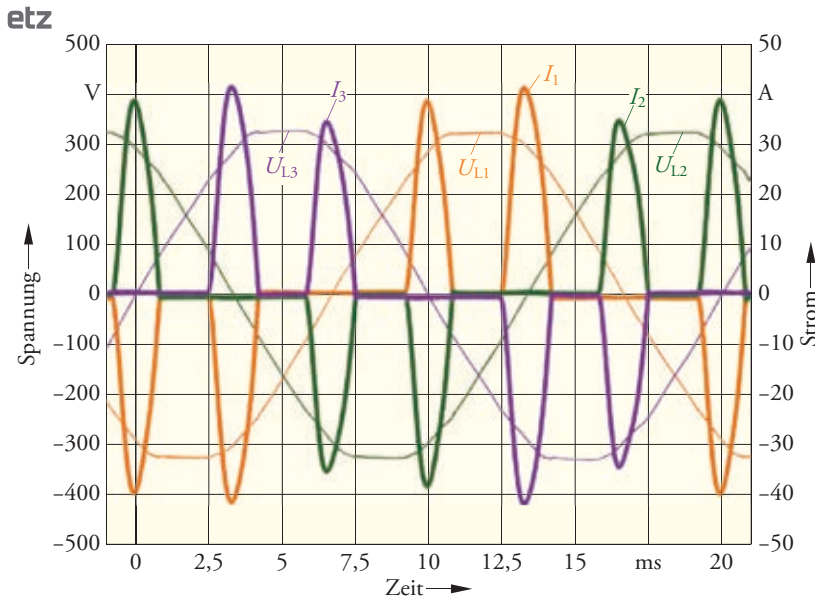
Mit der Bewertung nach den VDN-Technischen Regeln werden alle in einer Anlage relevanten Oberschwingungserzeuger bezüglich der am gemeinsamen Netzanschlusspunkt zu erwartenden Emissionen zusammengefasst. Dabei werden zum einen die einzelnen Oberschwingungsströme als auch die Gesamtheit aller Stromharmonischen über den Verzerrungsfaktor der Grundschwingung THD betrachtet. Die Untersuchungen haben weiter gezeigt, dass die Filter auch bei etwa sinusförmigen Ladeströmen nicht störend bzw.

normverletzend wirken.

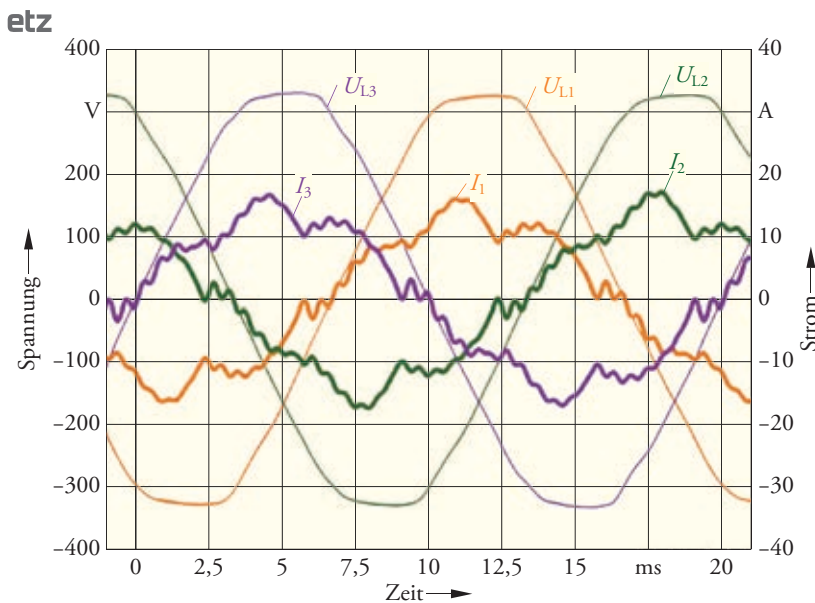
Zum Messen der Ströme und Spannungen während der Ladevorgänge wurden Power Quality Analysatoren und Störschreiber der Firma A. Eberle eingesetzt. Für den mobilen Einsatz wurden sogenannte PQ-Boxen, für den stationären Einbau sogenannte PQIDA verwendet. Die höchste Abtastfrequenz liegt mit 41 kHz bei der PQ-Box-200, sodass nur Frequenzen bis 20 kHz ausgewertet werden können.

Unterschiedlichen Filtermöglichkeiten

Zur Analyse und Bestimmung der unterschiedlichen Filtermöglichkeiten wurden die folgenden drei Filtervarianten



04 Ladestrom E-Mobil 2



05 Ladestrom E-Mobil 2 mit OS-Filter für 16A

eingesetzt und bewertet: EMV-Filter, 4%- u_k -Netz-drossel und Oberschwingungsfilter.

Es wurde relativ schnell deutlich, dass das EMV-Filter keinen messbaren Einfluss auf die Verläufe nehmen kann. EMV-Filter sind für leitungsgebundene Störaussendungen ab einer Frequenz von 150 kHz entwickelt worden. Dieses Frequenzband liegt über dem, was mit einem Power-Quality-Messgerät analysiert werden kann.

Das Einsatzgebiet der 4%- u_k -Netz-drossel ist das Filtern von Störaussendung an der Eingangsseite, ein- oder dreiphasiger passiver Dioden-Gleichrichterschaltungen.

Oberschwingungsfilter weisen Saugkreise für Oberschwingungen auf und erzeugen so sinusförmige Netzströme im Bereich der Filternennströme. Diese Art von Filtern sind

für passive B2- und B6-Gleichrichter, jedoch nicht für aktive Gleichrichter mit PFC geeignet [3].

Laden unterschiedlicher E-Mobile

E-Mobil 1 ist ein Serienfahrzeug eines europäischen Herstellers. Es wird dreiphasig mit 20,8 kW über einen Typ-2-Stecker geladen. Der Effektivwert des normalen Ladestroms beträgt 30,7 A (Bild 2), der Scheitelwert 50,3 A. Die 17. und die 23. Stromharmonische führen ohne die Beeinflussung einer Filtermethodik zu einer Normverletzung. Man kann hier vermuten, dass die eingebaute aktive PFC nicht optimal ausgelegt ist.

Eine vorgeschaltete 4%-Netz-drossel verringert die hochfrequenten Harmonischen bis unterhalb der zulässigen Grenzwerte, aber die stärksten Harmonischen einer B6-Schaltung, die 5. und 7. Harmonische, werden intensiviert, sodass die 7. Harmonische trotz Einsatz eines Filters, den zulässigen Grenzwert überschreitet.

Das Oberschwingungsfilter für 32 A (Bild 3) sorgt dafür, dass alle Oberschwingungen bis unter die zulässigen Grenzwerte reduziert werden. Der Verzerrungsfaktor des Grundschwingungsstroms THDI wird von 20 % auf 6 % abgesenkt.

E-Mobil 2 ist ein Fahrzeug, dessen ursprünglicher Verbrennungsmotor durch einen Elektroantrieb ersetzt wurde. Das zum E-Mobil umgebaute Auto wird über eine B6-Schaltung mit kapazitiver Glättung aus dem Netz geladen. Der Effektivwert des normalen Ladestromes beträgt 16 A, der Scheitelwert 42 A (Bild 4). Ein sinusförmiger Strom von 10 A würde dieselbe Wirkleistung von etwa 7 kW ergeben.

Eine vorgeschaltete 4%- u_k -Netz-drossel verringert etwa $\frac{3}{4}$ der betrachteten Harmonischen bis unterhalb des zulässigen Grenzwerts. Die stärksten Harmonischen einer B6-Schaltung; die 5. und 7. Harmonische, haben weiterhin zu hohe Oberschwingungspegel.

Das OS-Filter für 32 A sorgt dafür, dass alle Oberschwingungen bis unter die zulässigen Grenzwerte reduziert werden. Der Verzerrungsfaktor THDI befindet sich jedoch weiter über dem zulässigen Bereich.

Erst ein Filter, das nicht auf den Anschlusswert von 32 A, sondern auf den tatsächlich fließenden Strom von 16 A angepasst ist (Bild 5), sorgt für eine zufriedenstellende Filterwirkung. Damit werden alle Anforderungen der D-A-CH-CZ erfüllt.

Fazit

Durch den Einsatz von Standardfiltern können die Vorgaben der D-A-CH-CZ eingehalten werden. Macht es also Sinn, vor eine Ladesäule ein dreiphasiges Filter einzubauen? Die Rückwirkungen der E-Mobile auf die Netzqualität sind weniger geworden. Die meisten Kinderkrankheiten wurden in den letzten Jahren so gut wie beseitigt. Nur noch einzelne, wenige E-Mobile haben eine zu hohen Stromrückwirkungen neigende B6-Diodenbrücke mit kapazitiver oder induktiver Glättung auf der DC-Seite. Genau in diesen Fällen sind passive Standardfilter, Oberschwingungsfilter, nützlich.

Einige E-Mobile werden einphasig mit einer Leistung von deutlich mehr als 4,6 kVA geladen. Um dieser Unsymmetrie entgegen zu wirken, hilft natürlich kein Filter, sondern eine symmetrische Verteilung auf alle drei Phasen bzw. eine Reduzierung der Ladeleistung bei einphasigen Ladevorgängen. (mh)

Literatur

- [1] Thomas, T.; Plumhoff, P. A.: Studie – Power Quality in der Elektromobilität – Auswirkungen der Ladeinfrastruktur von Elektrofahrzeugen auf die Netzqualität. FH Bingen, 2013
- [2] VDN (D-A-CH-CZ): Technische Regeln zur Beurteilung von Netzzrückwirkungen. 2. Ausgabe 2007

- [3] Kampen, D.; Parspour, N.; Probst, U.; Thiel, U.: Comparative evaluation of passive harmonic mitigating techniques for six pulse rectifiers, 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, 2008. OPTIM 2008. Brasov, 2008, S. 219 – 225.

Autoren



Timo Thomas ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Elektrische Energietechnik an der TH Bingen am Rhein tätig. timo-thomas@web.de



Dr. Dennis Kampen ist als Leiter Grundlagenforschung für die Block Transformatoren-Elektronik GmbH in Verden tätig. dennis.kampen@block.eu



Prof. Dr.-Ing. Peter A. Plumhoff lehrt im Fachbereich FB 2 Elektrische Energietechnik an der TH Bingen am Rhein. p.plumhoff@th-bingen.de

VDE
VERLAG
Technik. Wissen. Weiterwissen.

NEU

**Technikwissen anwenden:
Breit gefächertes Fachwissen zum Umgang mit modernen Elektroantrieben!**

Das Spektrum des gelungenen Buchs erstreckt sich von der Regelungs- und Mikroprozessortechnik über die Stromrichtertechnik und Elektromechanik bis hin zur Dynamik bewegter Massen. Mit zahlreichen Testfragen und Übungsaufgaben zum besseren Verständnis.

Drive Control
Regelung elektrischer Antriebe
2., überarbeitete Auflage

2., überarbeitete Auflage
2017. 370 Seiten. Mit DVD
64,00 € (Buch/E-Book)
89,60 € (Kombi)

Book E-Book

Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten. Das Kombiangebot bestehend aus E-Book und Buch ist ausschließlich auf www.vde-verlag.de erhältlich. Diese Bücher können Sie auch in Ihrem Onlineportal für DIN-VDE-Normen, der Normenbibliothek, erwerben.

Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder www.vde-verlag.de/170278