

Einsatz von nichtlinearen Stromsensoren bei Kurzschlussprüfungen von Hochleistungs-Traktionsbatterien

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Johannes Teigelkötter
Philipp Kempf, M.Eng.

Technische Hochschule Aschaffenburg
Würzburger Str. 45
63743 Aschaffenburg
E-Mail: Johannes.Teigelkoetter@th-ab.de



Kurzfassung

Um die Schutz- und Sicherungsschaltungen von Hochleistung- Traktionsbatterien qualifizieren zu können, müssen Ströme im Bereich von einigen Kiloampere als auch Ströme von wenigen Ampere präzise und mit hoher Dynamik messen werden können. Dazu wird in diesem Bericht ein speziell entwickelter nichtlinearer Stromsensor NLCS (Non Linear Current Sensor) vorgestellt und die Messung und Auswertung mit Genesis HighSpeed Datenrekordern erläutert.

1. Einleitung

Um die steigenden Leistungsanforderungen in der Elektromobilität mit geringer Baugröße realisieren zu können, werden die Spannungen der eingesetzten Batteriesysteme erhöht. Damit verbunden sind höhere Sicherheitsanforderungen, um z.B. in einem Fehlerfall die auftretenden hohen Kurzschlussströme beherrschen zu können und sicher abzuschalten. Dazu werden spezielle Abschaltvorrichtungen entwickelt und optimiert. Da diese Komponenten für die Sicherheit eines Elektrofahrzeuges von hoher Relevanz sind, müssen diese sehr sorgfältig unter allen möglichen Einsatzbedingungen getestet werden. Neben dem abzuschaltenden Strom sind die Betriebstemperaturen, Luftdruck (Einsatz im Gebirge) und die Induktivität im Schaltkreis von hoher Bedeutung. Um den Einfluss dieser Parameter testen zu können, wurde an der Technischen Hochschule Aschaffenburg ein spezieller Prüfstand entwickelt und die Messtechnik von HBM eingesetzt. Insbesondere wurde die Funktionalität der Auswertesoftware von Perception genutzt, um die Präzision der Messung zu erhöhen und die Auswertung zu automatisieren.

Die spezielle Herausforderung bei den messtechnischen Untersuchungen von Abschaltvorrichtungen ist es, den hohen Kurzschlussstrom in der Größenordnung von 10kA messen zu können und direkt nach dem Abschaltvorgang die sichere Trennung feststellen zu können. Dazu ist eine genaue Strommessung im Bereich von 1A erforderlich. Um diese messtechnischen Anforderungen zu erfüllen, wird im Prüfstand der Technischen Hochschule Aschaffenburg ein selbstentwickelter nicht linearer Stromsensor NLCS (Non Linear Current Sensor) eingesetzt.

2. Lineare Strommessung

Lineare Stromsensoren, wie beispielsweise Shunt-Widerstände oder Kompensationsstromwandler werden in der elektrischen Messtechnik aufgrund ihrer hohen Genauigkeit eingesetzt [1].

Bei der Messung des Stroms mit einem Shunt wird der Spannungsabfall an einem niederohmigen Widerstand gemessen und über das Ohm'sche Gesetz auf den fließenden Strom geschlossen. Die Genauigkeit bei der Shunt-Messung hängt hierbei von der Präzision des Widerstandswertes, des Aufbauprinzips und insbesondere von den Eigenschaften des Messverstärkers ab. Hierbei ist eine sichere galvanische Trennung von großer Bedeutung. Hierzu eignen sich insbesondere die isolierten Eingangsverstärker ISOBE [2] vom HBM. Obwohl diese eine hohe Genauigkeit, hohe Bandbreite sowie eine Auflösung des Eingangssignals von 14 Bit aufweisen, kann hiermit mit einem linearen Stromsensor bei einem Messbereich von 30kA nur eine Auflösung von 1,8A erreicht werden. Mit dieser Auflösung kann nicht zweifelsfrei festgestellt werden, ob eine Trenneinrichtung sicher den Stromkreis unterbrochen hat.

3. Nichtlineare Stromsensoren

Um die guten Eigenschaften der ISOBE-Verstärker bei dieser Messaufgabe nutzen zu können, wurde ein nichtlinearer Stromsensor NCLS speziell zu Erfassung von Strömen, die einen Bereich über mehrere Dekaden abdecken, entwickelt. Dieser NCLS besteht aus einem Dioden-Widerstandsnetzwerk ausgelegt für einen Maximalstrom von 30kA.

Die Stromspannungskennlinie des eingesetzten NLCS ist in der Abbildung 1 dargestellt. Um den gesamten Messbereich darstellen zu können, ist der Strom logarithmisch dargestellt. Näherungsweise kann diese Kennlinie durch

$$i \approx I_0 \cdot e^{\frac{u}{U_0}}$$

beschrieben werden [3]. Wobei I_0 und U_0 Parameter sind, die den NLCS beschreiben und aus der Kennlinie des Sensors in Abbildung 1 bestimmt werden können. Wenn die Quantisierung bei der Spannungsmessung den Wert U_q besitzt, dann ergibt sich aufgrund der Quantisierung ein relativer Fehler bei der Strommessung

$$\frac{\Delta i}{i} \approx \frac{U_q}{U_0} = konst.$$

Dieser relative Fehler infolge der Quantisierung bei der Strommessung ist somit unabhängig vom Betrag des Stromes. Diese Gleichung zeigt deutlich, dass nichtlineare Sensoren die Möglichkeit bieten, über einen extrem großen Messbereich genau die Messsignale zu erfassen.

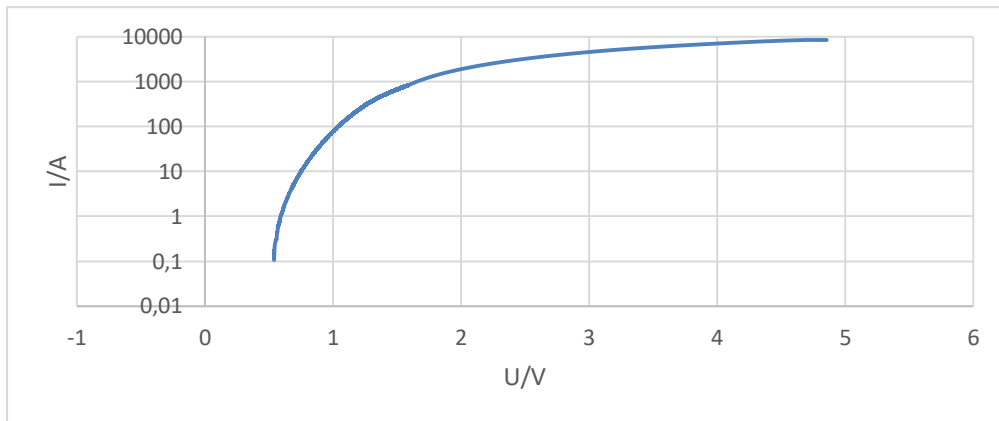


Abbildung 1: Nichtlineare Kennlinie des NLCS in einem Strombereich von 100mA bis 10kA

Diese nichtlineare Kennlinie des Sensors wird im Datenrekorder hinterlegt, um von der gemessenen Spannung auf den Stromwert zu schließen. In der Software Perception von HBM ist eine komfortable Sensordatenbank eingebettet [4]. Diese erlaubt es auf komfortabler Weise eine nichtlineare Sensorkennlinie zu berücksichtigen. Die Eingabemaske ist in Abbildung 3 dargestellt. Es empfiehlt es sich, um Eingabefehler zu vermeiden, die gemessene Sensorkennlinie als *.csv Datei in die Sensordatenbank zu übernehmen.

The screenshot shows the Perception software interface for configuring a Non-Linear Current Sensor (NLCS). The configuration panel includes fields for Name, Model, Serial Number, and Comment. It also has settings for voltage divider (Speisung), sensitivity (Empfindlichkeit), phase shift (Phasenverschiebung), and linearization (Linearisierung). The linearization section includes a table for defining the sensor's non-linear characteristic.

Elektrisch (V)	Physikalisch (A)
15.03526 m	5.140123 m
15.40235 m	-3.359747 m
15.56921 m	-4.249936 m
15.83618 m	-3.359747 m
16.30339 m	-2.469559 m
18.40558 m	-4.249936 m
19.10661 m	-3.359747 m
21.57611 m	-689.184 μ
22.77749 m	-2.469559 m
24.57956 m	-2.469559 m
26.01454 m	201.004 μ

On the right, a graph shows the non-linear characteristic curve with a red line. Below the graph, there are checkboxes for 'Polynomiale Reihenfolge' and 'Relative Abweichung anzeigen'.

Abbildung 2: Screenshot der Eingabemaske der Sensordatenbank in Perception

4. Beispiel einer Kurzschlussmessung

Um die Sicherheitseinrichtung einer Traktionsbatterie zu testen, wird der Messaufbau entsprechend der Abbildung 3 eingesetzt. Dabei wird der NLCS praktisch wie ein Shunt im Strompfad zwischen dem HV-Batteriesystem und der Sicherheitselektronik eingebaut. Der Sensor ist über eine Messleitung mit dem ISOBE5600t verbunden. Das Messsignal wird über einen Lichtwellenleiter galvanisch getrennt zum Datenrekorder übertragen. In dieser Applikation wurde ein GEN 2t eingesetzt [5].

Verantwortlich für die Überwachung und den Schutz eines Batteriesystems ist das Batterie-Management-System (BMS). Diese BMS bestimmt im Normalbetrieb den Ladezustand einer Traktionsbatterie und übernimmt die Kommunikation mit dem Fahrzeugrechner. Hier ist auch die Sicherheitselektronik mit der Abschaltvorrichtung eingebaut, die im Fehlerfall die Batterie vom Bordnetz trennen soll. Um diese Sicherheitselektronik zu testen, wird im Wechselrichter ein Kurzschluss provoziert. Daraufhin fließt ein Kurzschlussstrom, der von der Sicherheitselektronik mit Hilfe einer Abschaltvorrichtung innerhalb kurzer Zeit abgeschaltet werden muss.

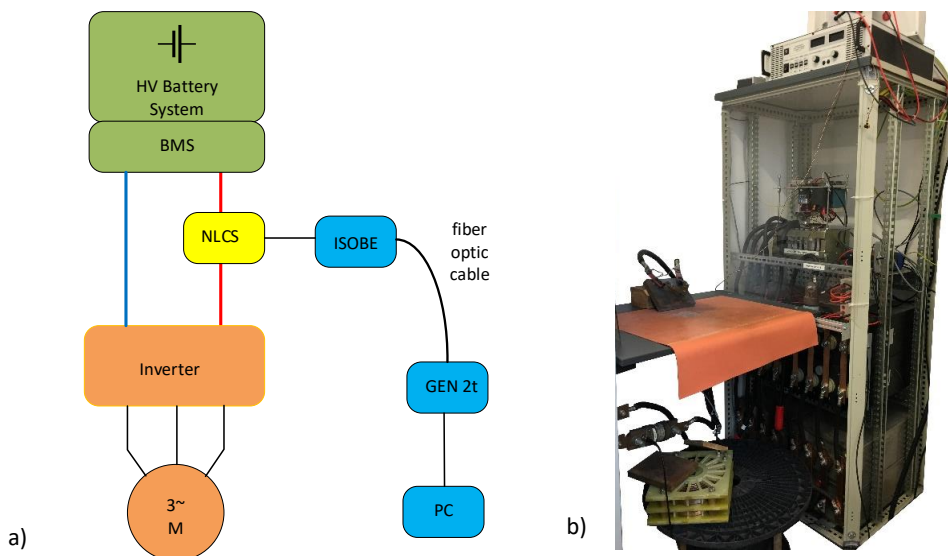


Abbildung 3: a) Prinzip des Messaufbaus b) Detail des Messaufbaus

Der zeitliche Verlauf eines Kurzschlussstroms ist in Abbildung 4 dargestellt. Dieser Kurzschlussstrom erreicht einen Spitzenwert von ca. 12kA zum Zeitpunkt $t=4\text{ms}$. Nachdem der Kurzschlussstrom, augenscheinlich, unterbrochen wurde steigt dieser Strom wieder auf 4kA an. Dieses Verhalten ist für eine zulässige Trennung nicht akzeptabel. Damit die Ursache für dieses Fehlverhalten eindeutig geklärt werden kann, muss geprüft werden ob der Strom bei $t=5\text{ms}$ wirklich unterbrochen wurde oder ob weiterhin ein kleiner Strom fließt. Bei einem linearen Wandler ist bei einem großen Messbereich die Quantisierung zu groß um dieses feststellen zu können. Hier kommen die bereits erläuterten Vorteile des nichtlinearen Sensors zum Einsatz.

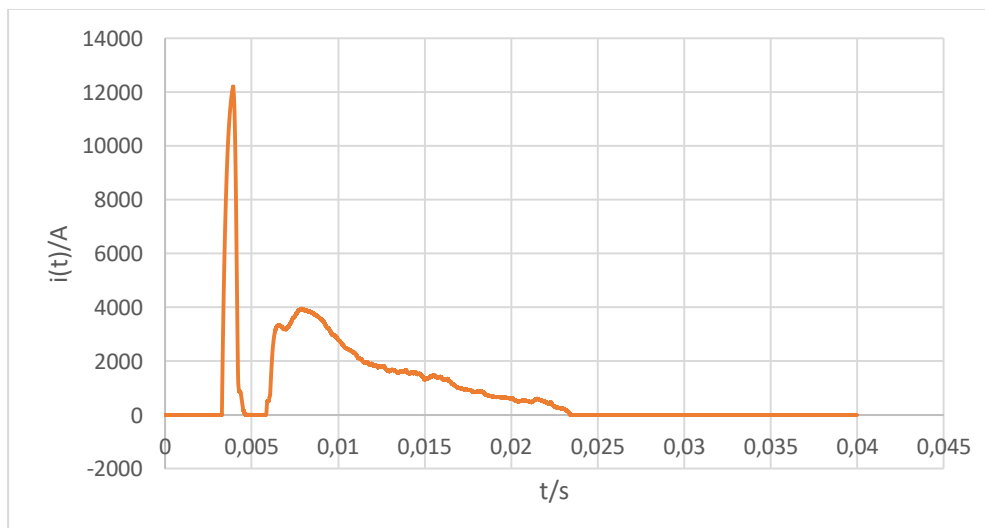


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf des Kurzschlussstroms gemessen mit einem Shunt

Abbildung 5 zeigt den zeitlichen Verlauf des Kurzschlussstroms bei $t=5\text{ms}$ mit einer guten Auflösung. Bei der Messung mit dem Shunt ist deutlich die Quantisierung der Messung zu erkennen. Diese grobe Quantisierung und ein möglicher Offsetfehler lassen bei der Messung mit einem Shunt keine belastbare Aussage zu, ob dieser Strom unterbrochen wurde. Der gleiche Vorgang wurde mit dem NLCS aufgezeichnet. Hier ist die feinere Auflösung leicht zu erkennen. Deutlich wird, dass der Strom nicht unterbrochen wurde und somit der Lichtbogen dauerhaft im Trennelement anstand. Diese Erkenntnis erlaubt eine zielgerichtete Optimierung des Trennelementes. Dieses Beispiel zeigt deutlich, eine gute und präzise Messtechnik ermöglicht eine Verkürzung der Entwicklungszeit und reduziert letztendlich den Gesamtaufwand in der Entwicklung.

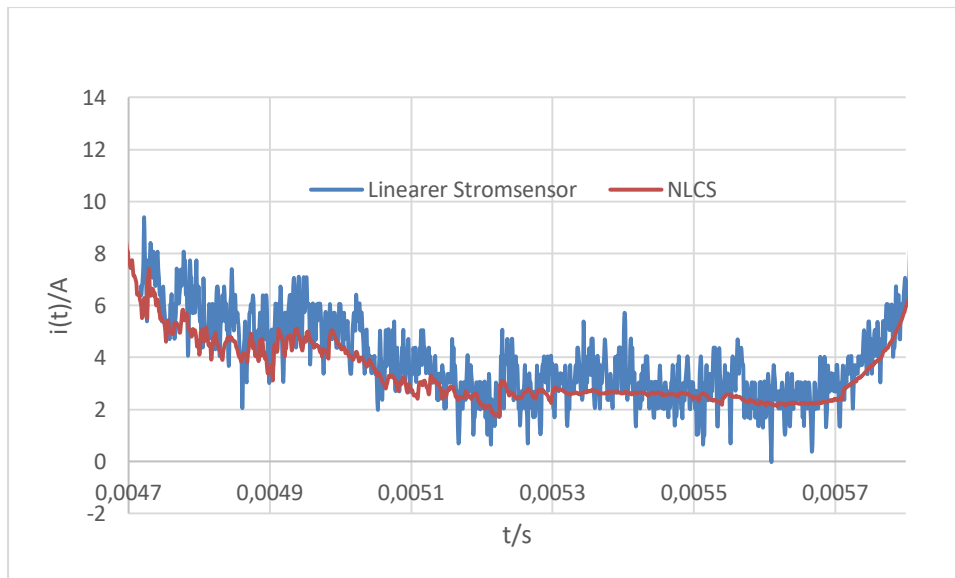


Abbildung 5: Vergleich Shunt und NLCS im unteren Strommessbereich

5. Literaturhinweise

- [1] J. Teigelkötter: Energieeffiziente elektrische Antriebe, Springer Verlag 2012
- [2] <https://www.hbm.com/de/2343/isobe5600-measurement-and-transmission-system/>
- [3] U. Tietze; C. Schenk; E. Gamm: Halbleiter-Schaltungstechnik, Springer Verlag, 14. Auflage
- [4] <https://www.hbm.com/de/2279/software-fuer-die-high-speed-messdatenerfassung/>
- [5] <https://www.hbm.com/de/7473/gen2tb-das-tragbare-leistungsstarke-daq-system/>