

Sicherungsersatz mit Smart Leistungsschaltern

Fuse Replacement with Smart Power Semiconductors

Dr. A. Graf, Fa. Siemens AG, HL PS TM, 81617 München, Tel. 089/ 636-22805

H. Estl, Fa. Siemens AG, HL PS TM 2, 81617 München

Zusammenfassung:

Die ursprünglich zum Selbstschutz in Smart Leistungsschalter integrierten Schutzfunktionen haben sich derart weiterentwickelt, daß sie heute auch in der Lage sind, nicht nur sich selbst, sondern auch die angeschlossene Last inklusive Leitungen und Steckkontakten zu sichern.

Dies war aber in der Vergangenheit primär die Aufgabe von Sicherungen. Die sinkende Zahl von ca. 80 auf nunmehr 40 Sicherungen bei neuen Fahrzeuggenerationen belegt diesen Trend des Sicherungsersatzes durch Halbleiter.

In dem Beitrag wird gezeigt, wie durch richtige Dimensionierung und Platzierung smarter Leistungsschalter die Sicherungen nicht nur ersetzt, sondern auch das Sicherungsverhalten wesentlich verbessert werden kann. Bei thermischem Ansprechen der Schutzfunktionen läßt sich z.B. ein ähnliches, aber in einigen Anwendungen günstigeres, Verhalten wie bei der heutigen Kfz-Schmelzsicherung erreichen, während durch aktive Stromauswertung nahezu ein beliebiges Sicherungsverhalten realisiert werden kann.

Im weiteren wird auf die verschiedenen Einflüsse wie z.B. Fertigungsstreuungen oder Temperatur, aber auch auf die Höhe der Betriebsspannung eingegangen, was besonders beim neuen 42V-Bordnetz von Bedeutung ist. Schließlich wird noch der unwahrscheinliche Fall der Zerstörung des Halbleiters, und einem damit verbundenem Ausfall der Sicherungsfunktion, näher analysiert. Anhand einiger Anwendungsbeispiele wird z.B. die richtige Dimensionierung beim Schalten von Lampen oder Motorlasten verdeutlicht, der Schutz von Kabeln wird dabei nicht vergessen.

Summary:

The protection functions originally incorporated in smart power switches for self-protection have become so sophisticated that they are now capable of protecting not only themselves but also the connected load including leads and plug-in contacts. Although in the past this was primarily the task of fuses, the reduction in the number of fuses in new vehicle generations from approx. 80 to the present 40 is evidence of the trend towards replacing fuses by semiconductors.

This article shows how correct dimensioning and placement of smart power switches not only enables fuses to be replaced but can also significantly improve protection behavior. In the case of thermal operation of the protection functions, for example, a similar but in some

applications more favorable behavior can be achieved than with the current vehicle fuse, whereas active current sensing allows virtually any fuse behavior to be implemented.

We then examine the various influencing factors such as manufacturing variations or temperature, but also the magnitude of the operating voltage which is important particularly for the new 42V electrical system. Finally, the unlikely event of destruction of the semiconductor and the associated failure of the protection function will be analyzed in greater detail. Correct dimensioning for lamp or motor load switching will be clarified with the aid of a number of practical examples.

1. Einleitung

Elektromechanische Schalter sind bei Kfz-Anwendungen in der Regel mit Schmelzsicherungen für einen Fehlerfall abgesichert. Schmelzsicherungen haben allerdings die unangenehme Eigenschaft, daß sie nach Auftreten eines Fehlers ausgetauscht werden müssen und somit einen speziellen Einbauort verlangen. Elektronische Sicherungen wie smart Leistungsschalter oder "polymeric positive temperature coefficient" Sicherungen (PPTC Sicherungen) haben hier deutliche Vorteile, allerdings auch höhere Kosten. Bei smart Leistungsschaltern gelingt es allerdings Schaltfunktion und Sicherungsfunktion in einem Baustein zu vereinen und somit in einem weiten Strombereich kostengünstiger als die Alternativlösung mit Relais und Sicherung zu sein (siehe Bild 1).

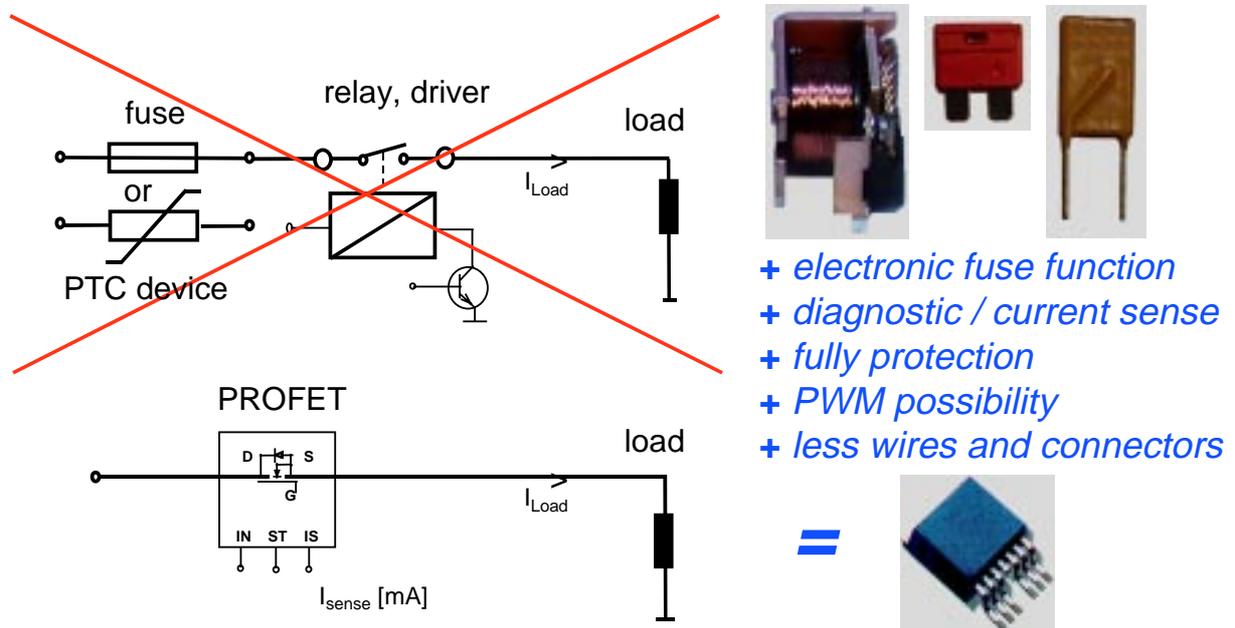


Bild 1: Smart Leistungsschalter mit elektrischer Sicherungsfunktion im Vergleich zu einer herkömmlichen Lösung
Smart power switch including electronic fuse function in comparison to a conventional solution

Optimal wird der smart Leistungsschalter dabei an dem Ort eingesetzt, an dem die heutige Schmelzsicherung plaziert ist. Wie aus Bild 1 ersichtlich bietet der smart Leistungsschalter weitere Vorteile wie die Reduzierung von Leitungen und Steckverbindungen, Möglichkeit der Diagnose und der Pulsweitenmodulation, sowie die Möglichkeit einer veränderbaren Sicherungscharakteristik.

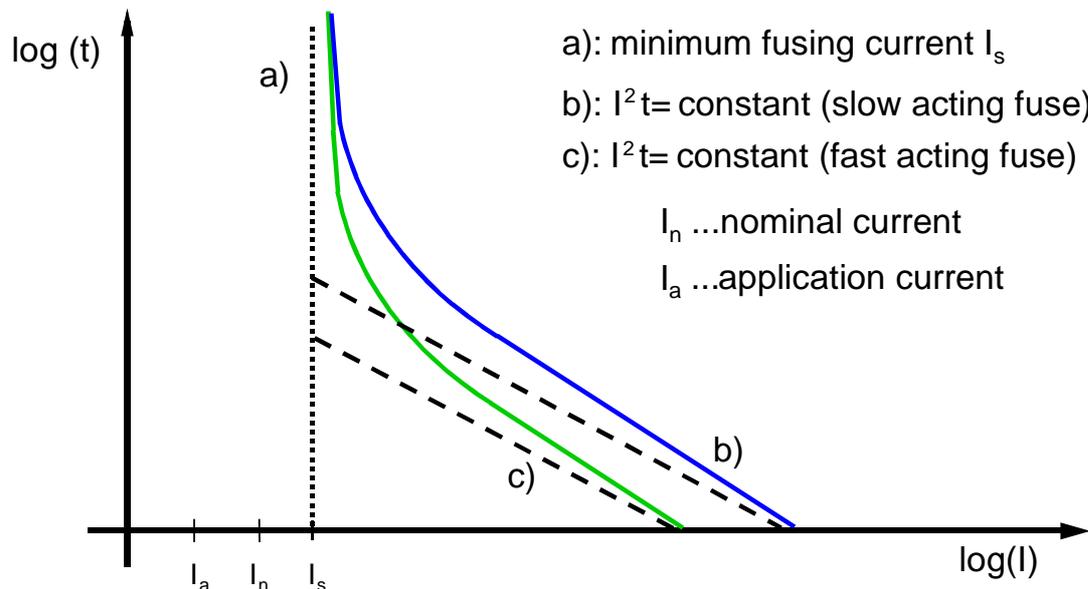


Bild 2: Strom-Zeit Charakteristiken von Schmelzsicherungen
Current-time characteristics of blowout fuses

Bild 2 zeigt die sogenannte It-Charakteristik einer Kfz-Schmelzsicherung mit einer trägen und einer flinken Abschaltcharakteristik. Die unterschiedliche Abschaltcharakteristik wird dabei durch eine Gerade mit $I^2t = \text{konst.}$ beschrieben. Je größer der Wert I^2t , desto träger ist die Sicherung. Der minimale Auslösestrom wird durch eine Gerade mit dem Wert I_s definiert.

2. Sicherungsverhalten von smart Leistungsschaltern

2.1. Schmelzsicherung, PPTC Sicherung und smart Leistungsschalter im Vergleich

Betrachten wir die Kennlinie einer PPTC Sicherung (Bild 3), so zeigt sich, daß diese aufgrund ihrer größeren Masse ein wesentlich trägeres Abschaltverhalten zeigt, als eine übliche Kfz-Sicherung.

Wird ein smart Leistungsschalter, hier z.B. ein PROFET BTS734L1 als Sicherung eingesetzt, so ergibt sich im Überlastbereich (hier ca. 10-20A) ein etwas trägeres Verhalten als bei der Schmelzsicherung, bei höheren Strömen (Kurzschluß) zeigt sich aber wieder ein Übergang zu flinkerem Verhalten. Der Halbleiterschalter hat als einziges der drei Elemente eine eingebaute Strombegrenzung, was beim Erreichen dieser Strombegrenzung zum gleichzeitigen Anliegen

von Strom und Spannung und somit zu einem gravierenden Anstieg der Verlustleistung führt. Da der Halbleiterschalter mit Temperaturschutz ausgestattet ist, führt dies zu einem schnelleren Abschalten durch Übertemperatur und somit zum Übergang zu einem flinken Sicherungsverhalten. Wie im Kapitel Anwendungen noch gezeigt wird, ist diese Charakteristik oft von Vorteil.

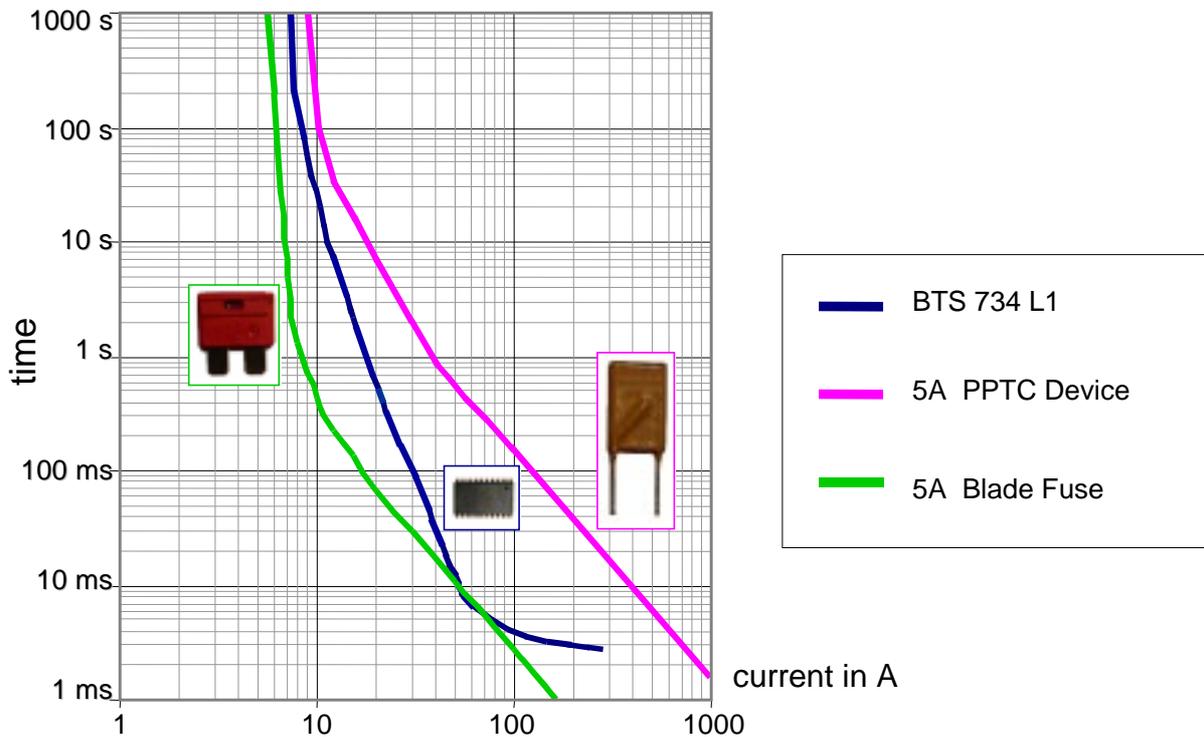


Bild 3: Direkter Vergleich von Schmelzsicherung, PPTC Sicherung und Halbleitersicherung
Direct comparison between blowout fuse, PPTC device and semiconductor fuse

Der aufgetragene Strom in Bild 3 ist der Strom, der sich bei einer bestimmten Überlastbedingung und einer Versorgungsspannung ergibt. Der BTS 734L1 hat z.B. eine Strombegrenzung von 50A, d.h. der Strom wird nie größer als 50A, und kann dennoch Applikationen absichern, die im Kurzschlußfall mehrere Hundert Ampere zulassen würden. In der Kennlinie drückt sich die Strombegrenzung durch ein Abflachen aus, d.h. Abschaltzeit bleibt annähernd konstant.

Aus diesem Grund ist für die Beurteilung der Sicherungscharakteristik aber nicht nur die It-Kennlinie, sondern auch der tatsächliche zeitliche Verlauf des Stroms interessant (Bild 4). Hier zeigt sich sehr schön, daß bei einem harten Kurzschluß von ca. 250A der PROFET nur einen Strom von ca. 50A zuläßt und dabei aufgrund des erwähnten Übergangs auf die flinke Charakteristik trotzdem sehr schnell abschaltet. Die Schmelzsicherung schaltet unter diesen Bedingungen zwar noch schneller ab, läßt aber kurzzeitig einen Strom von 250A zu. Die PPTC Sicherung läßt ebenfalls diesen hohen Strom zu und braucht aber außerdem extrem lange zum Abschalten. Selbst nach einem merklichen Rückgang des Stroms auf Werte des

mehrfachen Nennstroms fließt dieser Strom im Minutenbereich auf hohem Niveau weiter, um die PPTC Sicherung auf Temperatur zu halten. Ähnlich träge verhält sich auch das automatische Wiedereinschalten im Bereich mehrerer Sekunden, während der Halbleiterschalter automatisch oder elektronisch getriggert im Bereich weniger Millisekunden wieder in der Lage ist den Nominalstrom zu tragen.

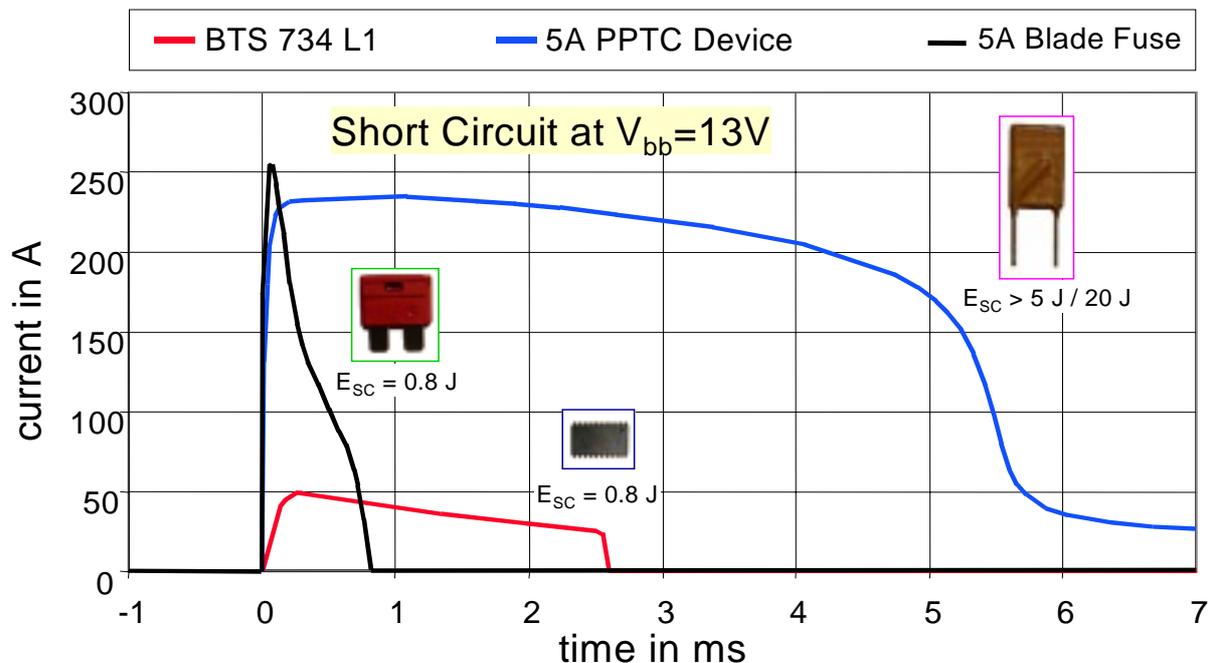


Bild 4: Vergleich des Kurzschlußverhaltens von Schmelzsicherung, PPTC Sicherung und Halbleitersicherung
Comparison of the short circuit behavior between blowout fuse, PPTC device and semiconductor fuse

Somit zeigt das Sicherungsverhalten des Halbleiterschalters die besten Eigenschaften, während die PPTC Sicherungen wohl alle negativen Eigenschaften in sich vereinen.

2.2. Charakteristik integrierter Sicherungsfunktionen

Smart Leistungsschalter haben unterschiedliche Schutzkonzepte, die sich auf die Charakteristik beim Einsatz als Sicherung verschieden auswirken. Als zuverlässigste Form hat sich das Abschalten nach Überschreiten einer maximalen Temperatur erwiesen. Wird ein Schalter wie der BTS640S2 wie in Bild 5 gezeigt in den Strombereichen A und B betrieben, so führt die erhöhte Verlustleistung im R_{ON} -Bereich des Schalters zu einer Übertemperaturabschaltung, ähnlich dem trägen Verhalten einer Schmelzsicherung. So kann der gezeigte Schalter z.B. 10s bis 100s einen Strom von ca. 20A führen.

Bei Strömen im Bereich 50A (Bereich C und D) findet der Übergang zur Strombegrenzung statt, und der Schalter wird mehr Verlustleistung aufnehmen. Die Übertemperaturabschaltung wird schneller ausgelöst, was sich in der Sicherungskennlinie in einem Abknicken nach unten

zu schnelleren Abschaltzeiten bemerkbar macht. Bei harten Kurzschlüssen (Bereich D) befindet sich der Halbleiter von Anfang an in der Strombegrenzung und schaltet somit bei allen möglichen Kurzschlußströmen nach konstanten Zeiten im Millisekundenbereich ab.

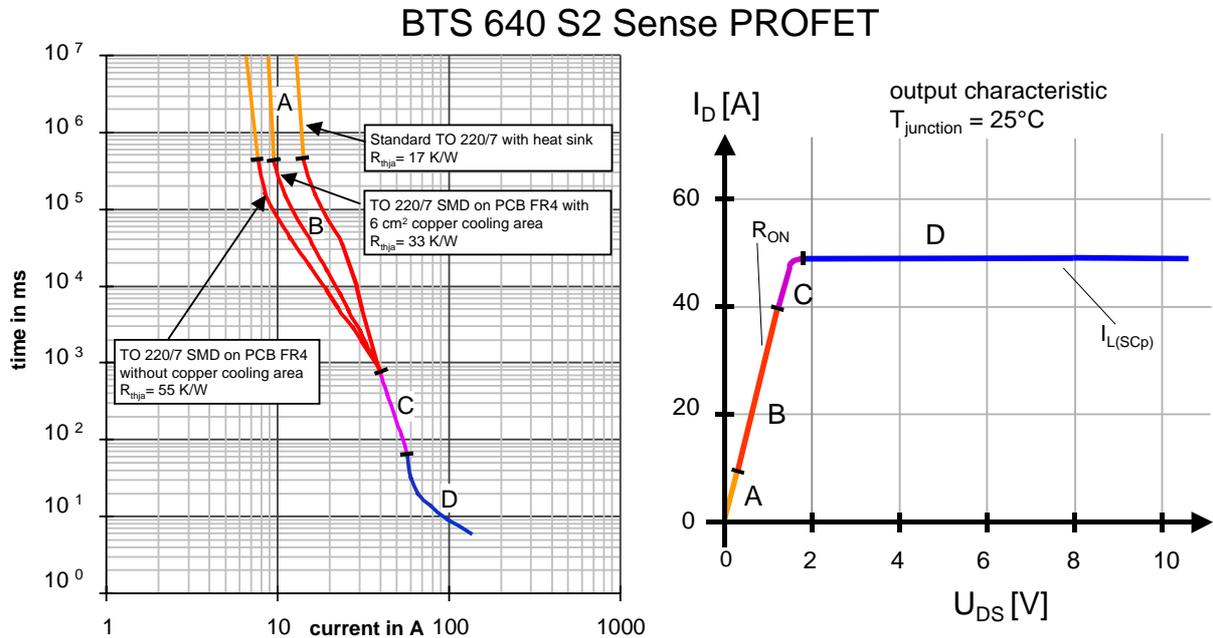


Bild 5: Strom-Zeit Charakteristik des Sense PROFET BTS640S2 unter verschiedenen Kühlbedingungen
Current-time characteristic of the sense PROFET BTS640S2 with different cooling conditions

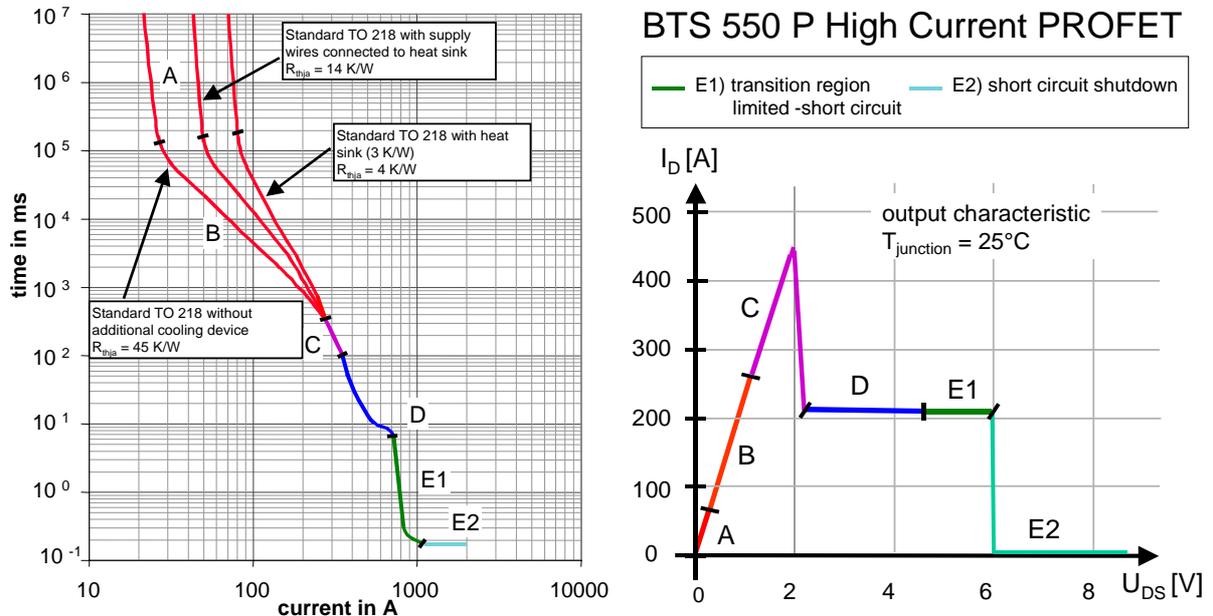


Bild 6: Strom-Zeit Charakteristik des Hochstrom PROFET BTS 550P unter verschiedenen Kühlbedingungen
Current-time characteristic of the high current PROFET BTS550P with different cooling conditions

Neben dem thermischen Abschalten bei Überlast gibt es Halbleiterschalter, die mit einer elektronischen Überlastabschaltung ausgestattet sind. Wird am Beispiel BTS550P in Bild 6 durch einen zu großen Kurzschlußstrom ein bestimmter Spannungsabfall am Leistungstransistor überschritten, so schaltet der Schalter, unabhängig von der aktuellen Chiptemperatur, nach kurzer Zeitverzögerung von ca. 200µs ab (Bereich E2).

Die Kühlbedingung eines Leistungsschalters hat ebenfalls Einfluß auf das Sicherungsverhalten. Bild 6 zeigt dies für thermische Widerstände zwischen 4K/W und 45K/W. Man sieht sehr schön den Einfluß auf den maximal möglichen Dauerstrom, sowie auf die Abschaltzeit bei leichter Überlast (Bereich A und B). Bei starker Überlast oder bei Kurzschluß hat der externe Kühlkörper keinen Einfluß mehr auf das Sicherungsverhalten, dieses wird hier nur noch vom internen Aufbau des Schalters bzw. des Siliziums bestimmt.

2.3. Temperaturabhängigkeit und sonstige Einflußgrößen

Wie die Schmelzsicherung hat auch das thermisch wirkende Sicherungsverhalten des smart Schalters ein ausgeprägtes Temperaturverhalten. Beim Halbleiterschalter ist der Temperatureinfluß größer als bei der Schmelzsicherung, weil hier der ausnützbare Temperaturbereich bis zur Abschalttemperatur von ca. 175°C sehr viel geringer ist (siehe Bild 7a). Bei Aufbau einer elektronischen Sicherung unter Verwendung des Sensestrom-Signals (siehe Kapitel 2.3) kann ein nahezu temperaturunabhängiges Verhalten realisiert werden. Die PPTC Sicherung zeigt aufgrund des kleinen Temperaturbereichs (bis ca. 120°C) die stärkste Temperaturabhängigkeit.

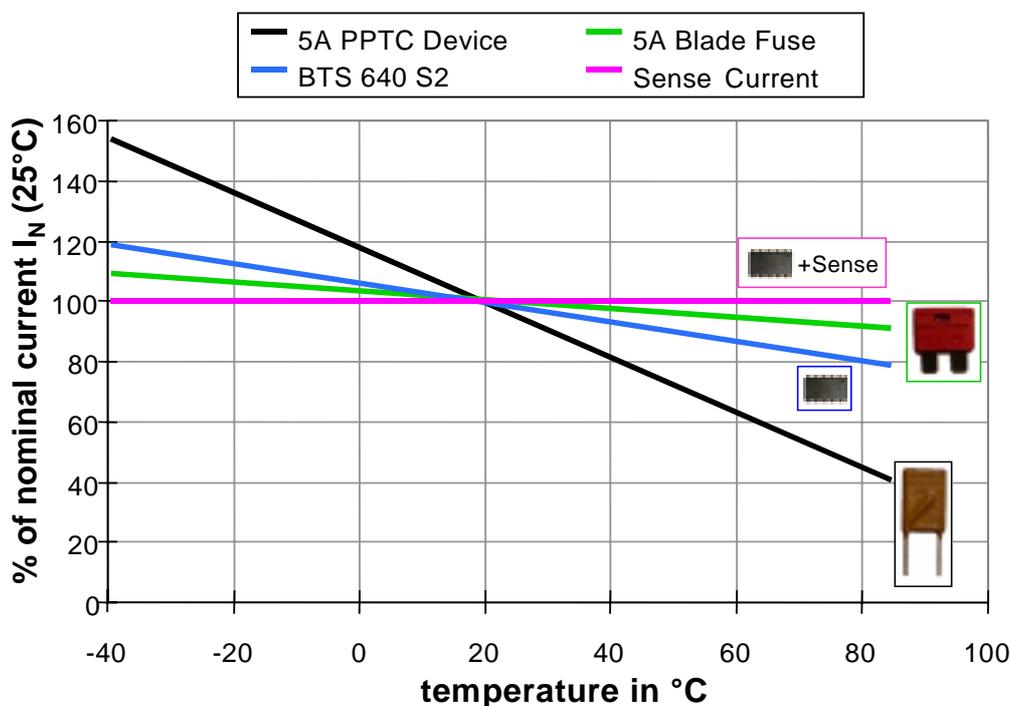


Bild 7a: Statische Temperaturabhängigkeit des nominellen Sicherungsstroms unterschiedlicher Sicherungen
Static thermal dependence of the nominal fusing current of different fuses

Wie in Kapitel 3.4. noch gezeigt wird, können die relativ geringe Temperaturabhängigkeit der Schmelzsicherung, aber insbesondere die starke Temperaturabhängigkeit der PPTC Sicherung beim Schutz von Kabeln sehr nachteilig sein.

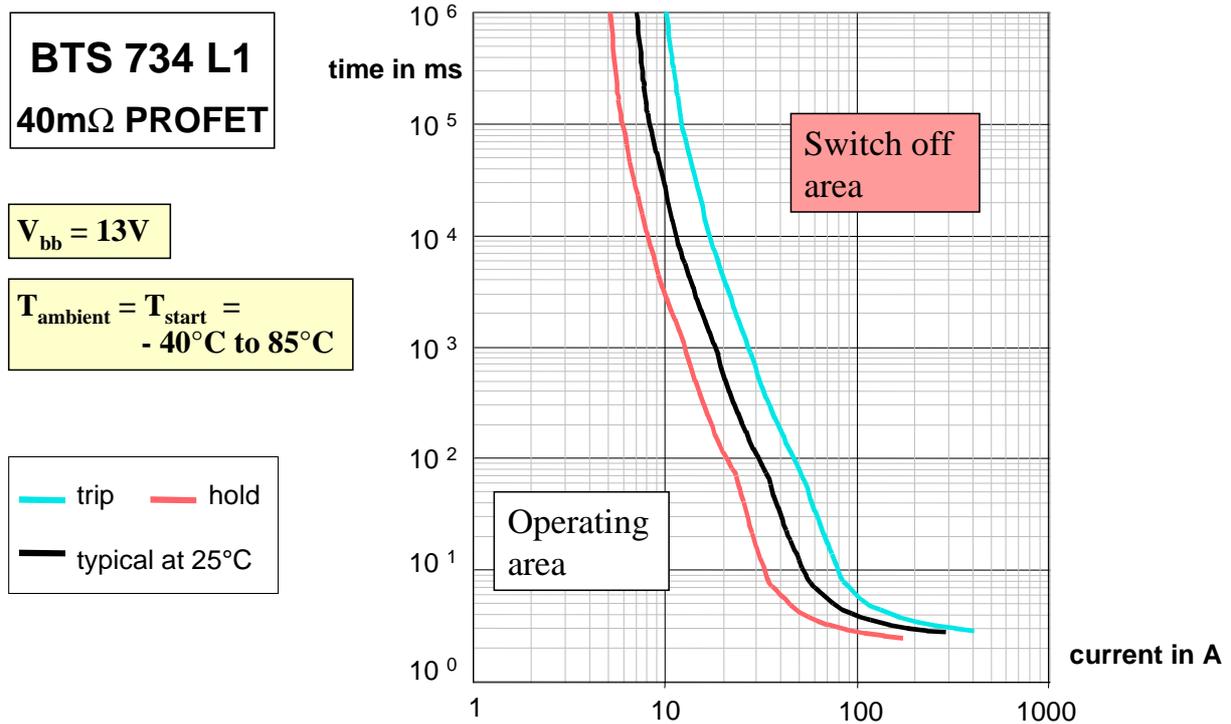


Bild 7b: Sicherungscharakteristik des BTS 734L1 bei unterschiedlichen Temperaturen als ‚worst case‘ Kennlinien
Fuse characteristic of the BTS 734L1 at different temperatures as worst case curves

Bild 7b zeigt die Sicherungscharakteristik eines BTS734L1 mit den ‚worst case‘ Kennlinien, die sich am einfachsten durch eine Parallelverschiebung der typischen Kennlinie nachbilden lassen. Darin enthalten ist der Temperatureinfluß von -40°C bis 85°C , der Einfluß temperaturabhängiger Bauteilparameter wie Durchlaßwiderstand und Strombegrenzung, aber auch der Einfluß sonstiger im Datenblatt spezifizierten prozeßbedingter Bauteilstreuungen. Für eine hinreichen genaue Ermittlung der minimalen und maximalen Kennlinie bestimmt man am besten für einen gegebenen Aufbau den minimalen statischen Strom bei 85°C und den maximalen statischen Strom bei -40°C und verschiebt die typische Kennlinie (25°C) durch diese Punkte.

2.4. Anwenderdefinierte Sicherungsfunktion mittels Strom-Sense

Das bisher beschriebene Sicherungsverhalten bezieht sich rein auf die integrierten Schutzfunktionen von smart Leistungsschaltern. Daneben gibt es zusätzlich Leistungsschalter, die eine analoge, lineare Information über den gerade fließenden Laststrom liefern. Mit Auswertung dieses sogenannten Sensestroms läßt sich beinahe jedes beliebige Sicherungsverhalten realisieren.

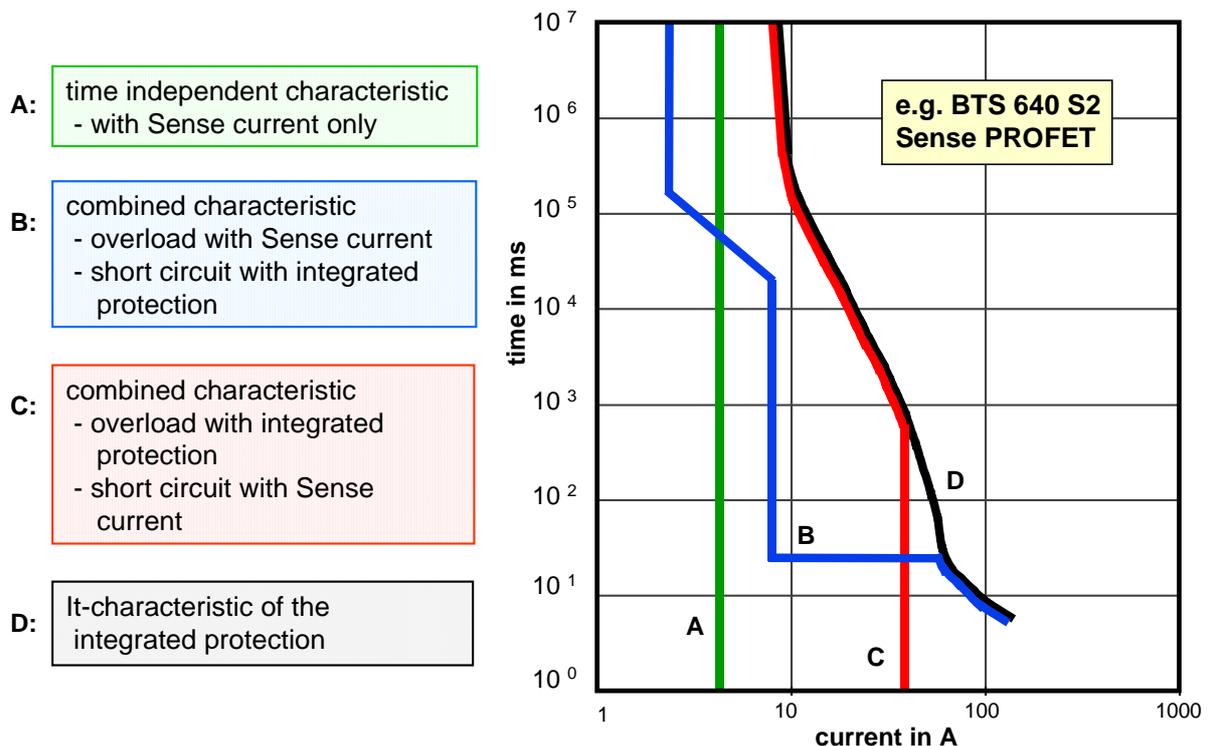


Bild 8: Benutzerspezifisches Sicherungsverhalten mittels Sense-Strom Auswertung
User defined fuse function due to sense current evaluation

Bild 8 zeigt dazu die integrierte thermische Sicherungscharakteristik als immer vorhanden und nicht abschaltbar (D). Mit Hilfe des Sense-Signals läßt sich z.B. eine Sicherung realisieren, die zeitunabhängig und temperaturunabhängig bei Überschreiten eines Stroms von z.B. 5A anspricht (A). Oder es läßt sich eine Sicherung realisieren, die bis 30A die integrierte thermische Charakteristik ausnützt und darüber zeitunabhängig elektronisch abschaltet (C). Eine andere Variante wäre die Anpassung der Sicherung an kurzzeitig höhere Einschaltströme sowie niedrigere statische Nominalströme (B).

Wie schon erwähnt, kann damit auch eine nahezu temperaturunabhängige und zeitunabhängige Sicherung aufgebaut werden. Bild 9 zeigt die Kennlinie dieser Sicherung in Abhängigkeit der Temperatur, wobei zu berücksichtigen ist, daß hier nicht nur Überlast, sondern auch Unterlast innerhalb sehr kurzer Zeit erfaßt werden kann.

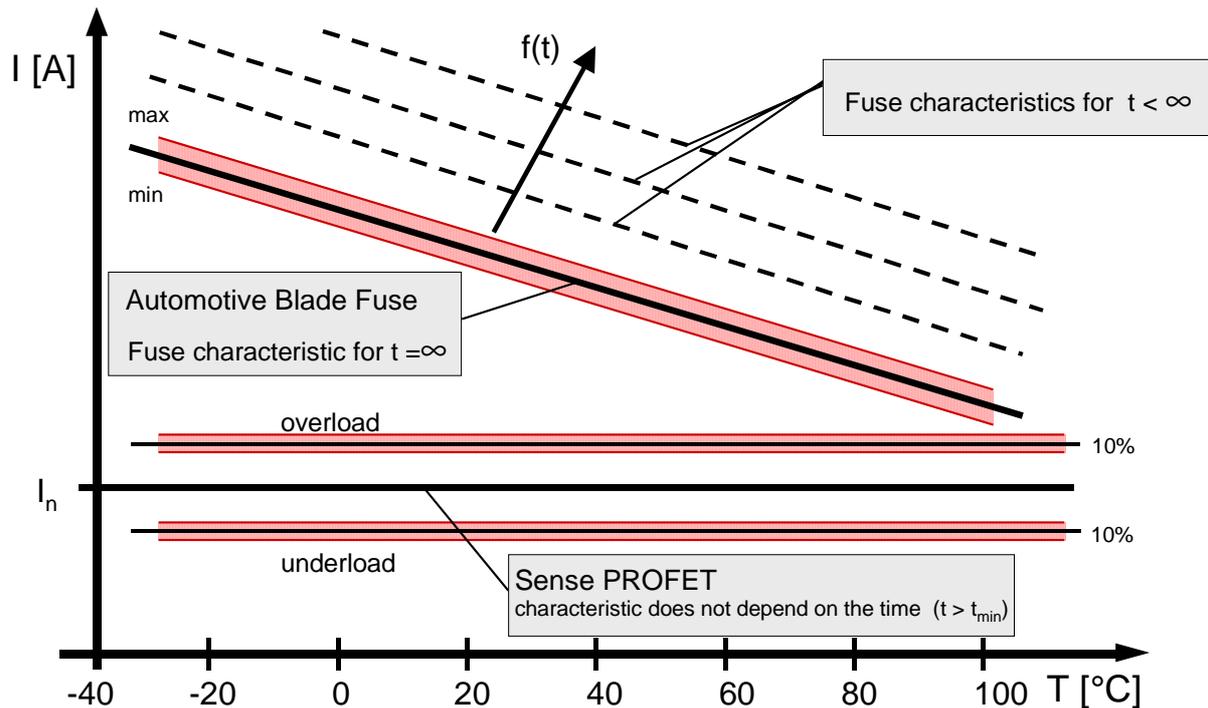


Bild 9: Zeit- und Temperaturabhängigkeit von Schmelzsicherung und elektronischer Sicherung mittels Sense PROFET
Time and temperature dependence of blowout fuse and electronic fuse with sense PROFET

Die Schmelzsicherung muß dagegen so ausgelegt werden, daß sie bei hohen Temperaturen noch den Nominalstrom tragen kann.

Die Abschalttoleranzen für sehr lange Zeiten sind bei der Schmelzsicherung relativ eng, aber bei niedrigen Temperaturen und während kurzer Zeiten können dann sehr hohe und gefährliche Ströme fließen.

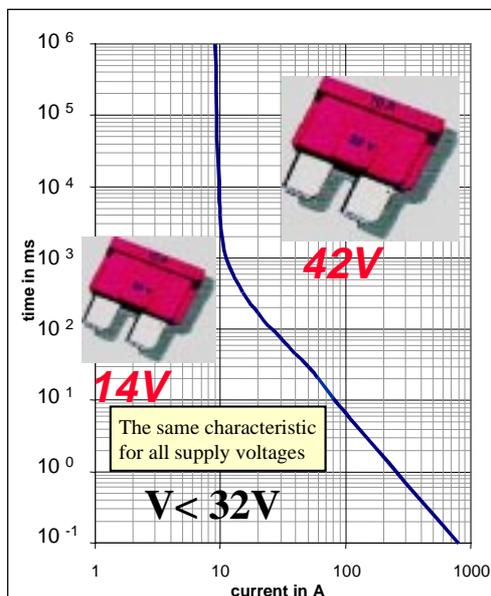
2.5. Verhalten bei höheren Betriebsspannungen

Bei herkömmlichen Sicherungen sowie bei PPTC Sicherungen wird die Abschaltcharakteristik im wesentlichen durch den Strom bestimmt. Die Betriebsspannung hat hier keinen direkten Einfluß, solange eine maximal zulässige Obergrenze nicht überschritten wird.

Gleiches gilt zunächst auch für smart Leistungsschalter für kleinere Ströme, d.h. für Ströme, wo sich der Schalter noch im ohmschen Bereich befindet. Die Erwärmung des Schalters und damit die Auslösecharakteristik, hängen hier nur vom Durchlaßwiderstand und dem Quadrat des Stromes ab.

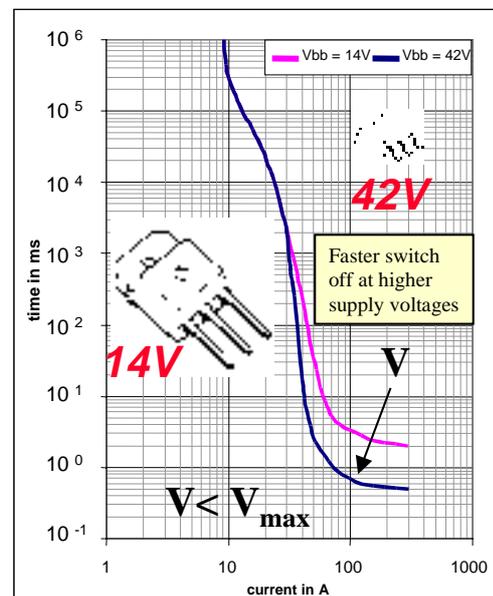
Wird die Strombegrenzung im Schalter aktiv, so ergibt sich bei annähernd konstantem Strom ein wesentlich höherer Spannungsabfall am Schalter und somit auch wesentlich mehr Verlustleistung, was wie schon erwähnt zu einem flinkeren Abschalten führt. Je höher dabei die Betriebsspannung ist, desto schneller und flinker ist auch das Abschaltverhalten.

7,5A Blade Fuse, 25°C



42V: device fire possible

PROFET BTS640S2, 25°C



42V: faster at high current

Bild 10: Vergleich des Sicherungsverhaltens bei höheren Spannungen wie z.B. 42V
Comparison of fuse characteristics at higher voltages like 42V

Natürlich darf auch hier die max. zulässige Betriebsspannung des Schalters nicht überschritten werden. Die Anpassung von Leistungsschaltern auf die jeweilige Spannungsanforderung (z.B. 42 V) ist bei der Entwicklung des Schalters möglich und stellt kein prinzipielles Problem dar. Die 42 V-Kennlinie beim BTS 640S2 im Bild 10, welcher normalerweise bis zu einer maximalen Betriebsspannung von 34V spezifiziert ist, ist demnach auch bei einem modifizierten Schaltertyp aufgenommen worden, um den Einfluß höherer Betriebsspannungen zu demonstrieren.

Eine interessante Nebenerscheinung in diesem Zusammenhang ist, daß Schmelzsicherungen für höhere Spannungen wegen der Lichtbogenstrecken eher größer dimensioniert werden müssen, während Leistungshalbleiter aufgrund der kleineren Ströme bei z.B. 42V deutlich kleiner ausfallen.

2.6. Fehlermöglichkeiten des Sicherungssystems

Beim Einsatz von Leistungsschaltern als Sicherung stellt sich immer wieder die Frage, was passiert, wenn der Schalter zerstört wird und es aufgrund der fehlenden Potentialtrennung zu unkontrolliertem Stromfluß kommt. Nachfolgend soll verdeutlicht werden, daß unter realistischer Betrachtung dieses Killerargument entkräftet wird.

Der erste hier zu betrachtender Fehler (Bild 11, Fehler 1) ist der direkte Kurzschluß und Masse. Hier zeigen herkömmliche Sicherung und Relais sowie Leistungsschalter die gleiche

Funktion, der Stromfluß wird sicher unterbrochen. Der Leistungsschalter ist im Gegensatz zur Schmelzsicherung nach Beseitigung des Fehlers wieder einschaltbar.

Besonders zu erwähnen ist hier, daß der Kurzschluß nach Masse bei smart Leistungsschaltern ein spezifizierter Betriebszustand ist, der bei der Herstellung auch geprüft wird, und daß der Schalter bei dieser Anwendung nicht zerstört wird. Diese Aussage ist für die nachfolgenden Betrachtungen noch wichtig.

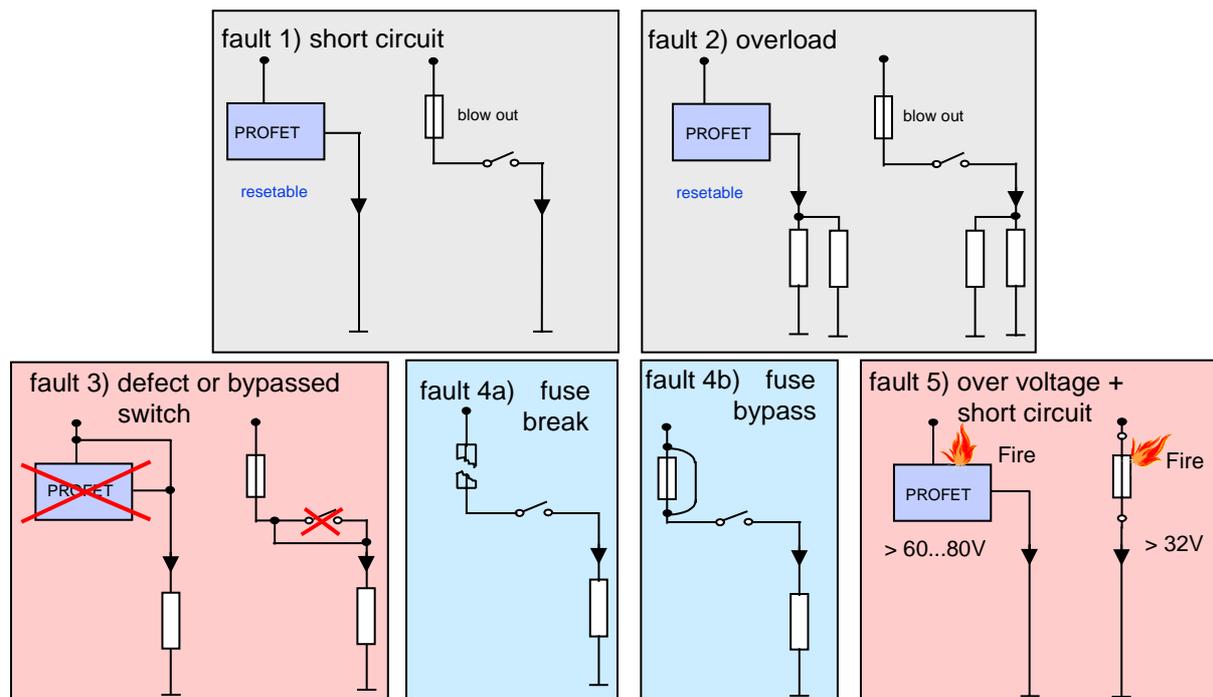


Bild 11: Unterschiedliche Fehlermöglichkeiten der Sicherungsfunktion im Vergleich
Comparison of the different failure methods of the fuse function

Fehler 2 in Bild 11 zeigt den Überlastfall und ist gleich zu behandeln wie Fehler 1.

Fehler 3 zeigt den Fall eines niederohmig zerstörten Schalters. Sowohl beim mechanischen Schalter, als auch beim Leistungsschalter, ist der Stromfluß nicht mehr kontrollierbar, die Last ist mit Nennstrom permanent eingeschaltet. Die Schmelzsicherung wäre noch bereit auszulösen, wird aber nur mit Nennstrom belastet und hat hier demnach keine Funktion. In beiden Fällen besteht durch übermäßige Verluste im zerstörten Schalter die Gefahr eines Brandes.

Fehler 4 zeigt noch zwei Möglichkeiten, nämlich die gebrochene oder kurzgeschlossene Sicherung, die so nur bei der Lösung mit der Schmelzsicherung auftreten können, weil hier Sicherung und Schalter aus zwei Bauteilen bestehen. Da beim smart Leistungsschalter Sicherung und Schalter in einem Element vereint sind, existiert hier der Fehler 4 nicht und ist schon mit Fehler 3 berücksichtigt.

Der obenerwähnte oft zitierte Problemfall eines niederohmig zerstörten Leistungsschalters hat sehr negative Auswirkungen, wenn zusätzlich noch ein Kurzschluß nach Masse anliegt. Dies

ist aber nicht durch den Kurzschluß alleine herbeizuführen. Eine Möglichkeit, diesen Fall (Fehler 5) herbeizuführen besteht durch Anlegen eines Kurzschlusses und gleichzeitigem Auftreten von energiereicher dynamischer oder statischer Überspannung, die den Schalter zerstört. Dies ist erstens ein Betrieb außerhalb der Spezifikation und zweitens ein sog. Doppelfehler, der aufgrund der geringen Wahrscheinlichkeit nicht berücksichtigt werden sollte. Bei diesem Betrieb wäre auch die Lösung mit der Schmelzsicherung überfordert, weil auch diese beim Auslösen unter energiereicher Überspannung zu Brandgefahr oder Explosion neigt.

Wie der Vergleich in Bild 11 zeigt, ergibt sich keine Einbuße der Sicherheit durch Verwendung von smart Leistungsschaltern als Sicherung. Im Gegenteil, durch die Kombination von Schalter und Sicherung in einem Bauteil ergeben sich weniger Fehlermöglichkeiten als bei der herkömmlichen Lösung aus Schmelzsicherung und Relais.

3. Dimensionierung in der Anwendung

3.1. Schalten und Sichern einer H4-Kfz-Lampe

Kfz-Lampen haben beim Einschalten für mehrere Millisekunden einen etwa 5 bis 10 mal größeren Einschaltstrom als bei Dauerbetrieb (siehe Bild 12). Das Sicherungsverhalten des Systems muß also auf diese Gegebenheiten angepaßt sein.

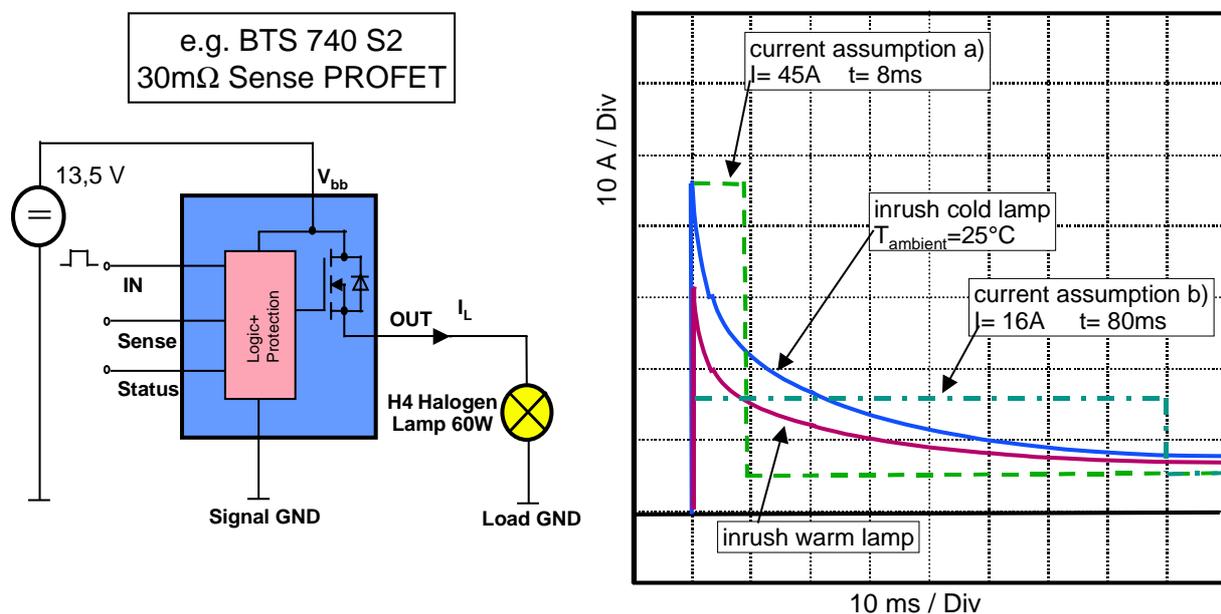


Bild 12: Schalten und Sichern einer H4 Scheinwerferlampe mit hohem Einschaltstrom
Switching and fusing a H4 head lamp with high inrush current

Eine einfache und hinreichend genaue Überprüfung der richtig dimensionierten Sicherungscharakteristik ergibt sich, wenn man die Einschaltcharakteristik der Lampe wie in

Bild 12 durch rechteckige Kurvenverläufe nachbildet, wie bei der H4-Lampe 45A für 8ms, 16A für 80ms und 5,5A Dauerstrom.

Diese Strom-Zeit-Punkte lassen sich in der It-Charakteristik der Sicherung übertragen und müssen für eine richtige Dimensionierung im statischen und dynamisch erlaubten Arbeitsbereich der Sicherung liegen.

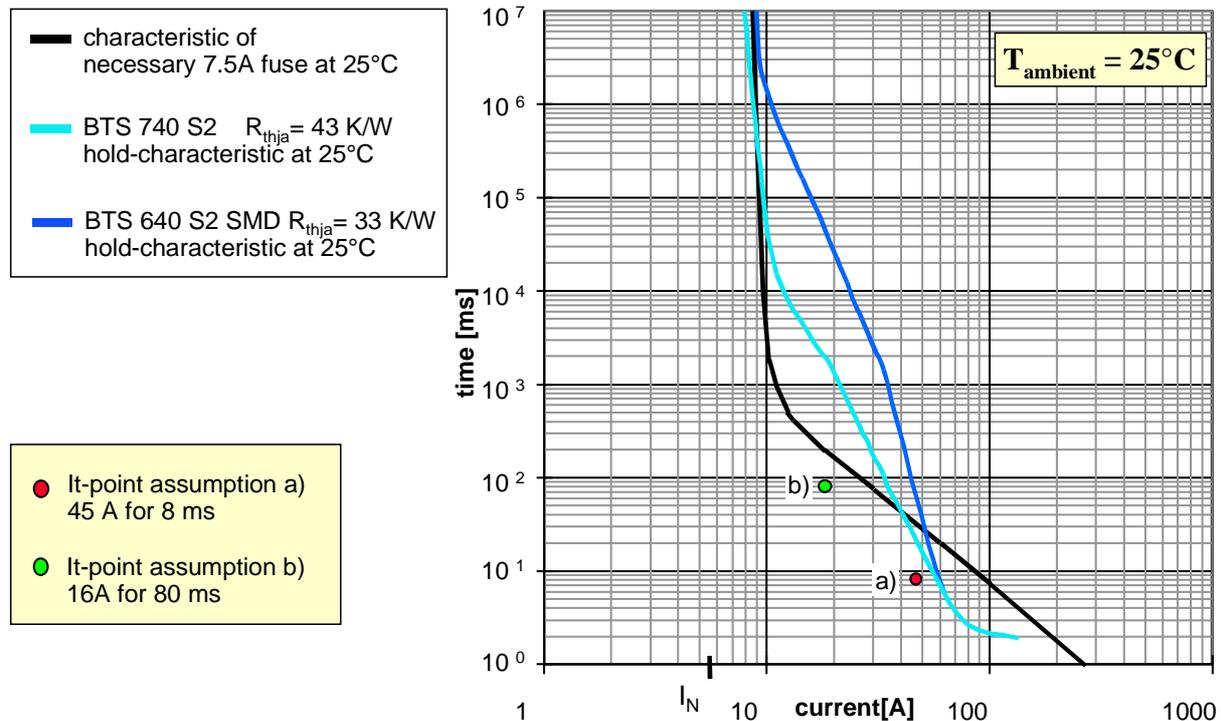


Bild 13: Beurteilung der verwendeten Sicherung mittels It-Punkten aus Einschaltstrom und Einschaltdauer

Criticize possible fuses with It-points of inrush current and duration

In Bild 13 ist dies für den Fall einer 7,5A Blade-Sicherung sowie eines BTS 740S2 als Sicherung gezeigt. Der Schalter BTS 740S2 ist hier mit 30mΩ Durchlaßwiderstand in SO-20 Gehäuse bewußt knapp dimensioniert worden, um zu zeigen, daß dieser Schalter ohne das Vorhandensein eines speziellen Kühlkörpers ($R_{thja}=43K/W$) in der Lage ist, einen Einschaltstrom von 45A für 8ms (a) bzw. einen Strom von 16A für 80ms (b), genau so sicher wie eine 7,5A Blade-Sicherung zu beherrschen.

Zum Vergleich ist in Bild 13 noch die Kennlinie des Schalters BTS 640S2 im TO 220 (SMD) gezeigt, welcher den gleichen Chip wie der BTS 740S2 enthält. Das im Baustein integrierte große Leadframe bewirkt, daß die Abschaltcharakteristik im Strombereich 10A bis 30A und im Zeitbereich 100ms bis 100s träger wird. Für das Einschalten der Glühlampe, wo die Spitzenströme nur für einige Millisekunden fließen, hat das jedoch keinen Einfluß. Lediglich das Schalten von Gleichstrommotoren mit langem Blockierbetrieb kann dadurch geringfügig positiv beeinflusst werden (siehe Kapitel 3.3).

Durch die besseren Kühleigenschaften lassen sich ferner der max. zulässige statische Strom erhöhen, was aber bei dieser Anwendung ebenfalls nicht notwendig ist.

Durch eine feinere Aufteilung des tatsächlichen Stromverlaufs in rechteckige Strom-Zeit-Punkte läßt sich eine genauere Belastung von Schalter oder Sicherung simulieren, was aber in aller Regel nicht notwendig ist.

3.2. Schalten und Sichern eines Xenon-Vorschaltgeräts

Hierbei gilt prinzipiell die gleiche Betrachtung wie bei der H4-Lampe. Das Xenon-Vorschaltgerät hat laut Hersteller einen für 10s maximalen Einschaltstrom von 17A. Ein BTS 640 S2 auf einer Leiterplatte (SMD ohne Kühlkörper, $R_{thja}=33K/W$) könnte diesen Strom bei 25°C führen, bei 85°C wäre der Schalter an der Grenze der Belastung. Bei 85°C wäre aber auch die vom Hersteller vorgeschlagene 16A-Schmelzsicherung an der Grenze der Belastung (siehe Bild 14 und 15).

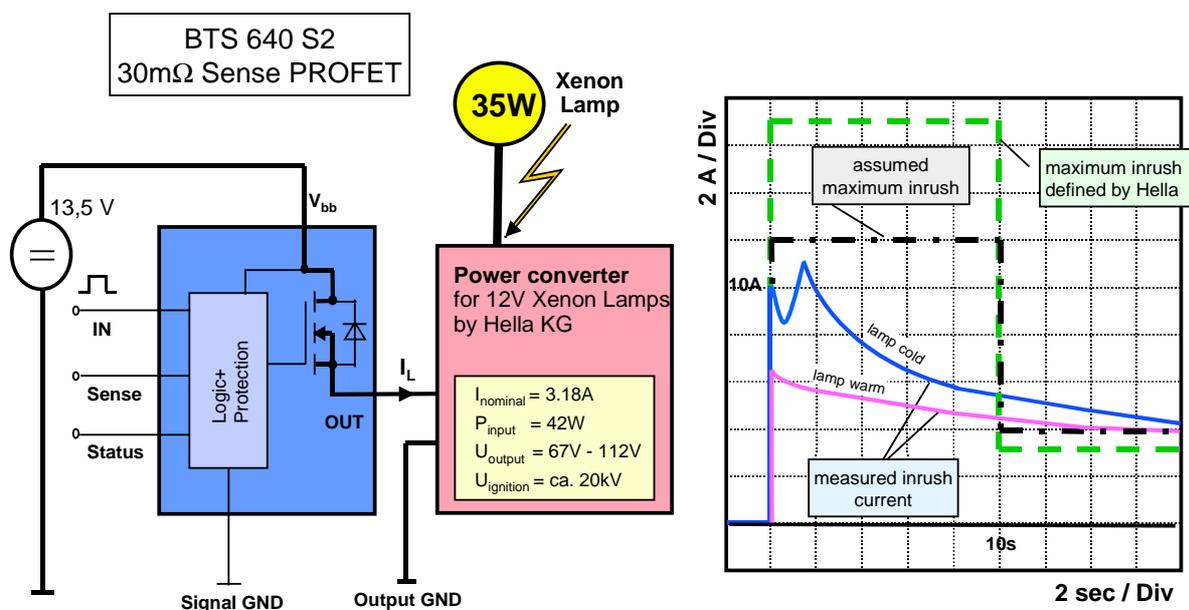


Bild 14: Schalten und Sichern einer Xenon Scheinwerferlampe mit Vorschaltgerät
Switching and fusing a Xenon head lamp with power converter

Im Versuch konnten jedoch bei allen Temperaturen von Vorschaltgerät und Lampe keine höheren Stromspitzen als 12A gemessen werden. Nimmt man diesen Wert für eine Belastung von 10s als „worst case“ Belastung an, so ist der BTS 640S2 bestens für diese Applikation geeignet (Bild 15). Die tatsächliche Belastung ist jedoch aufgrund der Rechteckannahme deutlich geringer. Der wirkliche Stromverlauf beim Einschalten des Vorschaltgeräts weicht aber sehr stark von der Rechteckannahme ab. Tatsächlich ist immer ein exponentieller Abfall des Einschaltstroms zu beobachten gewesen, was sich auch mit theoretischen Überlegungen deckt. Um die Verwendbarkeit eines Schalters zu ermitteln, sollte somit besser der maximale

tatsächliche Stromverlauf anstelle des rechteckigen, vom Hersteller spezifizierten Stromverlaufs, verwendet werden.

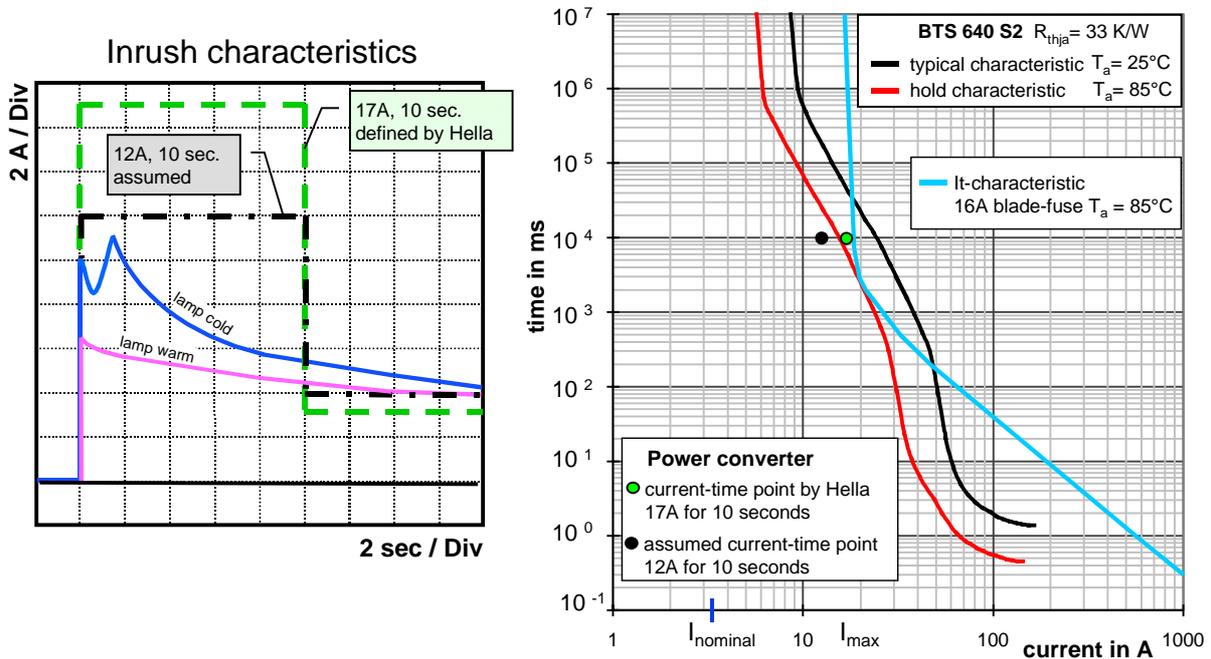


Bild 15: Verschiedene Einschaltströme und Zeiten der Xenon Lampe im It-Diagramm
Different inrush currents and times of the Xenon lamp in the It-diagram

3.3. Schalten und Sichern eines Gleichstrommotors

Gleichstrommotoren haben eine ähnliche Einschalt-Strom-Charakteristik wie Lampen, der Stromverlauf ist jedoch sehr stark von der Art der Belastung abhängig.

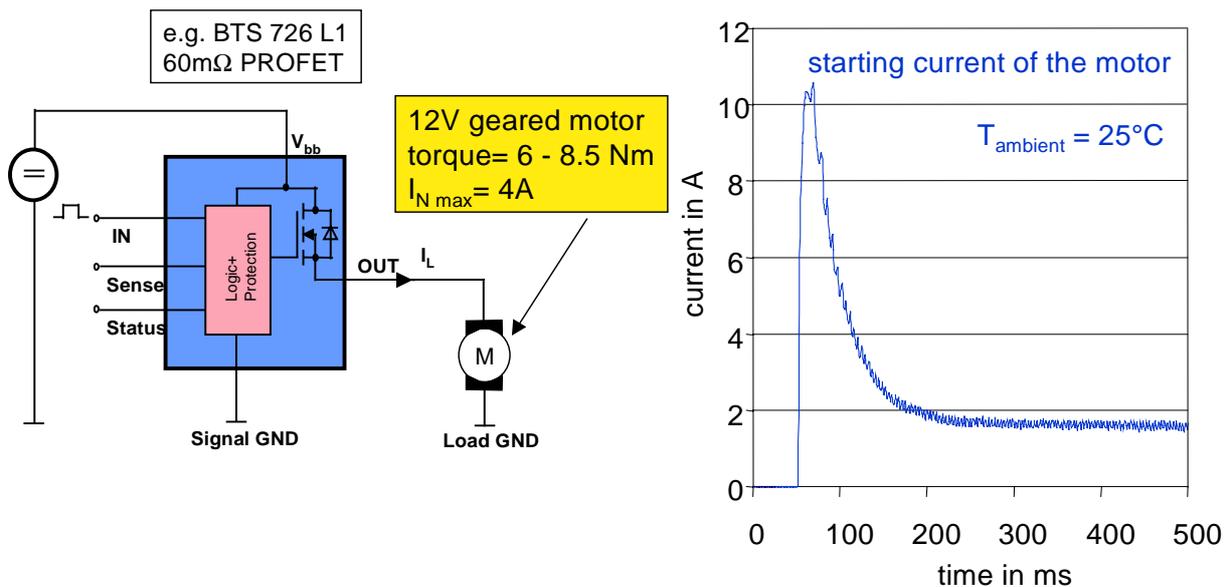


Bild 16: Schalten und Sichern eines 12V Getriebemotors
Switching and fusing a 12V geared motor

Bild 16 zeigt einen Gleichstrommotor mit 11A Blockierstrom und 4A max. Nominalbelastung, wie er z.B. für Schiebedachanwendungen verwendet wird. Dieser Motor wird hier mit einem 60mΩ Schalter BTS 726L1 ohne jeglichen Kühlkörper geschaltet. Dieser relativ hochohmige Schalter im SO-Gehäuse sowie der Aufbau auf einer Leiterplatte ohne zusätzlichen Kühlkörper wurden hier gewählt, um die erstaunlichen Möglichkeiten dieser Anwendung zu demonstrieren.

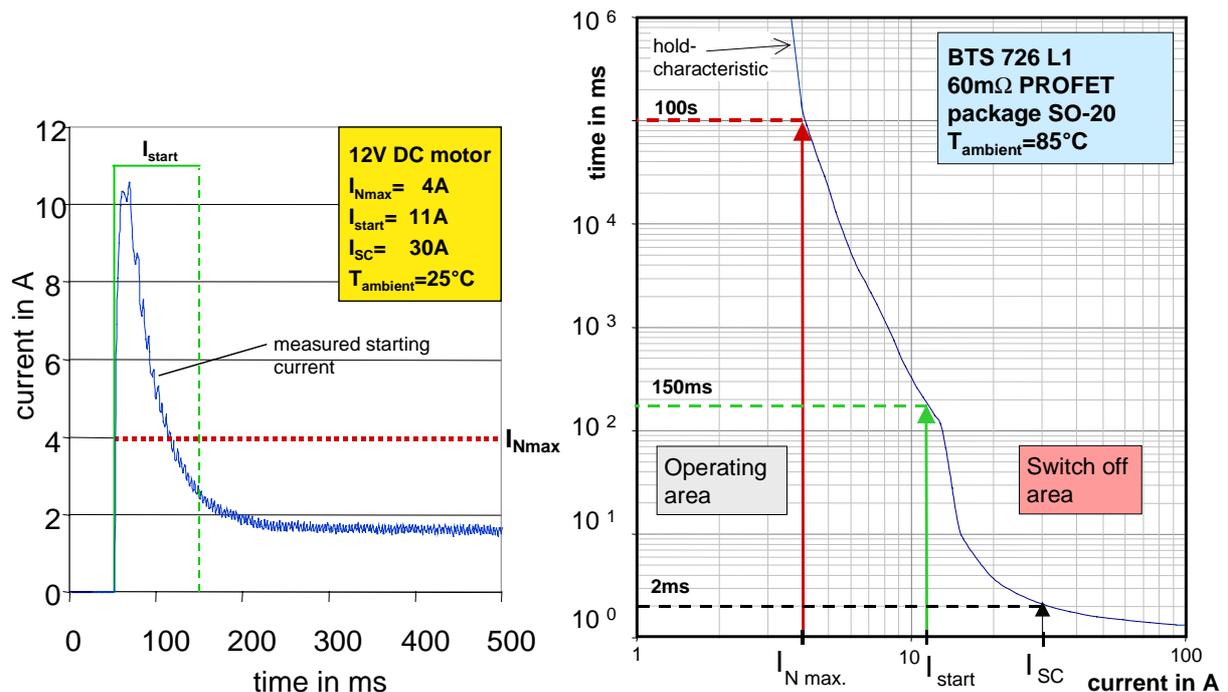


Bild 17: Belastungsdauer für Nominalstrom und Blockierstrom bei Verwendung eines BTS726L1 ohne Kühlung
Load duration for nominal current and stall current by using a BTS726L1 without cooling

In Bild 17 läßt sich ablesen, daß dieser Aufbau ca. 150ms im Blockierbetrieb und ca. 100s unter max. Nominallast bei 85°C belastet werden kann.

Werden längere Belastungszeiten gewünscht, so müssen entweder ein niederohmigerer Schalter oder zusätzliche Kühlkörper verwendet werden. Wie schon erwähnt, führt ein Kühlkörper hauptsächlich zu einer höheren nominellen Belastbarkeit, während durch einen niederohmigeren Schalter sowohl die nominelle Belastbarkeit als auch die Dauer des Blockierbetriebs erhöht werden können.

3.4. Absicherung von Kabeln

Kabel haben prinzipiell eine ähnliche Charakteristik wie Schmelzsicherungen. Außerdem ist ihre Belastbarkeit sehr stark temperaturabhängig.

Bild 18 zeigt die It-Charakteristiken verschiedener im Kfz-Bereich verwendeter Kabel bei 25°C.

Anhand der folgenden Erläuterungen soll verdeutlicht werden, welcher Einfluß die unterschiedlichen Sicherungskonzepte auf die in einer Anwendung minimal verwendbaren Kabelquerschnitte haben.

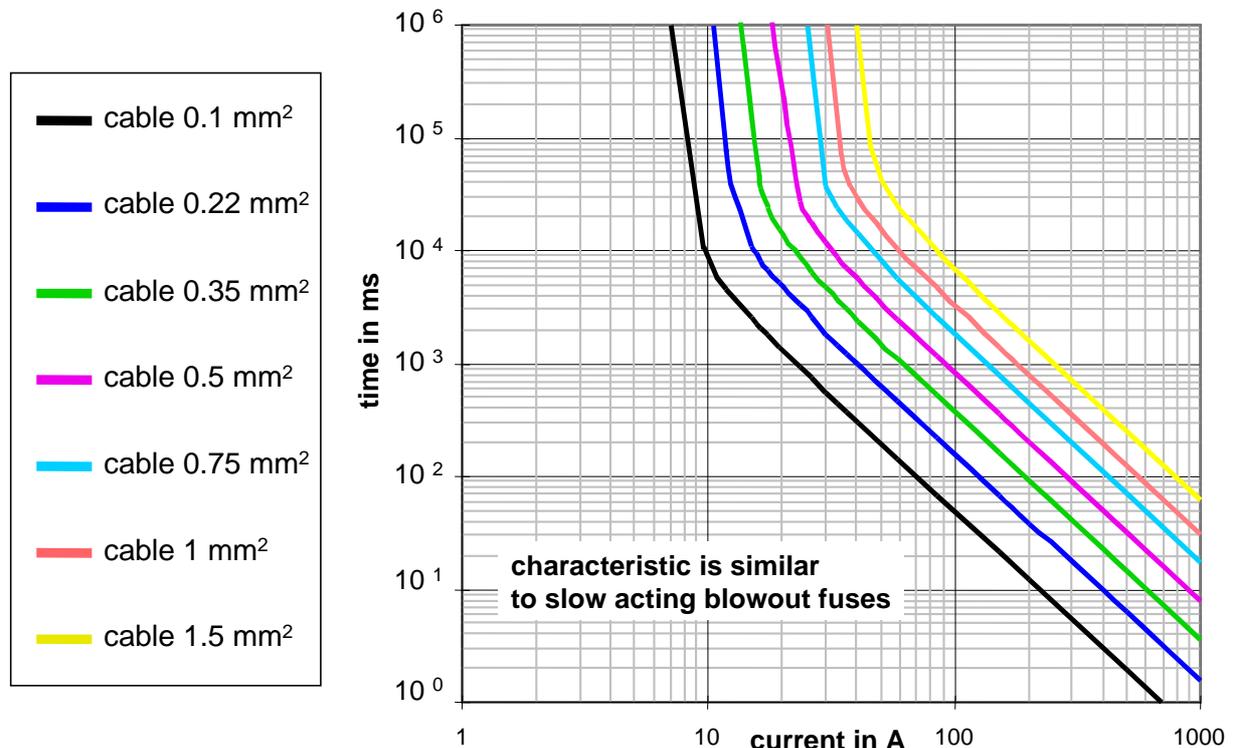


Bild 18: Charakteristik der Strom-Zeit Belastbarkeit von Kabeln für Kfz-Anwendungen
Characteristic of the current-time load-test of automotive wires

Bild 19 zeigt zunächst eine Auswahl von Sicherungen und Kabel bei -40°C für eine Anwendung von 5A Nominalstrom. Ausgewählt wurden eine 7,5A Blade-Sicherung, eine PPTC Sicherung für 5A sowie ein smart Schalter BTS 734L1 mit 40mΩ Durchlaßwiderstand und SMD-Montage. Als dünnstes verwendbares Kabel, unter dem Gesichtspunkt der Belastungsfähigkeit, ergibt sich ein sehr dünnes Kabel mit einem Querschnitt von 0,15mm².

Wird diese Auswahl nun bei 85°C betrachtet, so ergeben sich unterschiedliche Probleme. Das Kabel ist bei höherer Temperatur weniger belastbar. Aufgrund der geringen Temperaturabhängigkeit der Blade-Sicherung besteht bei einer Dauerbelastung von ca. 8A (Überlast) eine Zerstörungsgefahr für das Kabel. Um dies zu umgehen, dürfte hier bei Verwendung einer 7,5A Blade-Sicherung kein Kabel mit einem kleineren Querschnitt als 0,35mm² verwendet werden.

Die PPTC Sicherung ist extrem stark temperaturabhängig. Sie würde zwar bei 85°C das dünne Kabel schützen, ist aber nicht mehr in der Lage den Nominalstrom von 5A zu führen. Um dies

wieder zu ermöglichen, müßte die PPTC Sicherung für 5A durch einen größeren Typ mit 11A ausgetauscht werden, was allerdings ein sehr träges Abschalten bei -40°C zur Folge hat. Um nun auch hier bei allen Temperaturen eine sichere Applikation zu erzielen, müßte ein Kabel mit einem minimalen Querschnitt von mindestens $1,0\text{mm}^2$ verwendet werden.

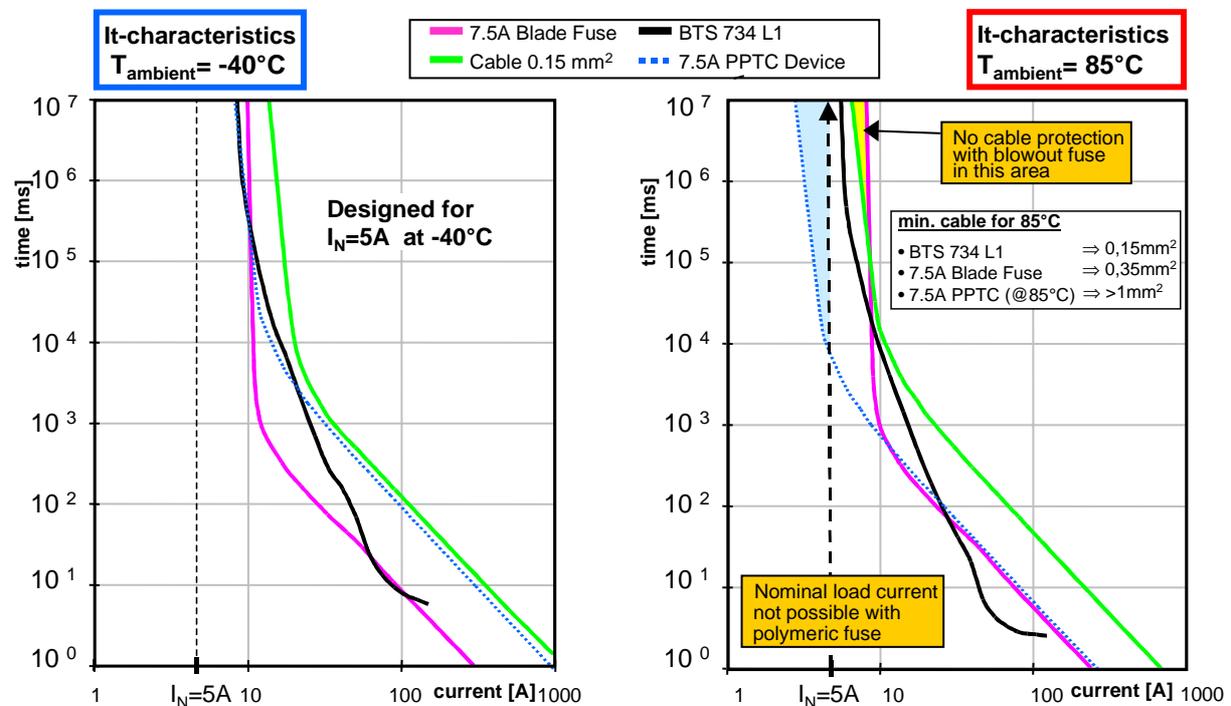


Bild 19: Schwierigkeiten beim Kabelschutz unter Verwendung von Schmelzsicherung oder PPTC Sicherungen
Difficulties with cable protection if using blowout fuse or PPTC device

Der Einsatz des Leistungsschalters als Sicherung zeigt schließlich ein ähnliches Temperaturverhalten wie das der Kabel. Dadurch ist er als einziges der drei Sicherungselemente in der Lage, die Applikation mit einem sehr dünnen Kabel mit $0,15\text{mm}^2$ Querschnitt sowohl bei -40°C als auch bei 85°C zu betreiben.

Nur durch den Einsatz von smart Leistungsschaltern als Sicherung lassen sich also konsequent die Kabelquerschnitte im Kfz reduzieren und dadurch Gewicht und Kosten einsparen. Bei Verwendung von PPTC Sicherungen ist in diesem Strombereich genau das Gegenteil der Fall, nämlich eher eine Erhöhung der Kabelquerschnitte.

Für den Vergleich ist hier bewußte das dünnste mögliche Kabel mit $0,15\text{mm}^2$ gewählt worden, auch wenn es für den Einsatz im Kfz unhandlich erscheint. Für die Beurteilung der Belastung von Steckkontakten oder Leiterbahnen macht diese Betrachtung aber sehr wohl Sinn. Wie hier verdeutlicht wurde, ist das oft zitierte Abbrennen von Leiterbahnen eigentlich nur ein Problem beim Einsatz von Schmelzsicherungen, ganz besonders aber bei Verwendung von PPTC Sicherungen, nicht aber beim Einsatz von smart Leistungsschaltern.

4. Ausblick

Bei objektiver Betrachtungsweise bietet das Sicherungsverhalten von smart Leistungsschaltern die gleiche Ausfallsicherheit wie die heute eingesetzten potentialtrennenden Schmelzsicherungen. Smart Leistungsschalter bieten in vielen Applikationen oft gravierende Vorteile, auch wenn diese ihnen heute oft noch nicht zugetraut werden.

Diejenigen, die diese Vorteile jedoch ohne Vorurteile annehmen, werden in der Lage sein, innovative und kostenreduzierte Lösungen anzubieten.

Wie die Ausführungen zeigten, sind die smart Schalter in der Lage, oft höhere Einschaltströme zu führen als die entsprechenden Schmelzsicherungen. Bei einem wirklichen Kurzschluß können sie den Strom andererseits extrem schnell unterbrechen.

Durch die Kombination von Schalter und Sicherung in einem einzigen Bauteil ergeben sich zusätzliche Sicherheitsvorteile sowie Potential für Kostenreduzierungen.

Diese Schrift ist ein Auszug aus einer umfangreicheren Applikationsnote, die auch im Internet unter <http://www.siemens.de/semiconductor/products/36/3673.htm> zu finden ist und zusätzliche Informationen wie z.B. Sicherungskennlinien diverser smart Leistungsschalter enthält.

Allgemeiner Hinweis:

Mit den Angaben werden technische Eigenschaften spezifiziert, nicht Eigenschaften zugesichert

- 1) Sicherungersatz mit PROFET Highside Leistungsschaltern, Dr. .A. Graf, H. Estl: Applikationsnote ANPS039D, Siemens Power Semiconductors, München, 29.4.98, <http://www.siemens.de/semiconductor/products/36/3673.htm>
- 2) Sense-Highside-Treiber in Smart Power-Technologie übernimmt Sicherungsfunktion, Dr. A. Graf et. al.: 7. Internationale Fachtagung Elektronik im Kraftfahrzeug, Baden-Baden, 12.-13. September 1996, <http://www.siemens.de/semiconductor/products/36/3673.htm>
- 3) Smart SIPMOS Leistungshalbleiter der neuen Generation, Dr. A. Graf: 15.Tagung 'Elektronik im Kraftfahrzeug, Essen, 31.5-1.6.95
- 4) Halbleiter-Technologien und Schalter für neue Kfz-Bordnetze, Dr. A. Graf et. al.: 18. Tagung Elektronik im Kraftfahrzeug, München, 16.-17. Juni 1998, <http://www.siemens.de/semiconductor/products/36/3673.htm>
- 5) Raychem Corporation: Circuit Protection Databook, PolySwitch™ Resettable Fuses, February 1997, <http://www.raychem.com>
- 6) Littelfuse V.B.: Fuses for Automotive Applications, Utrecht The Netherlands, First published 1996