

Optimierung eines Hochstromhalbleiterschalters für Fahrzeuganwendungen

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing.
Gerhard Babel

Zeitraum

Sommersemester 2000

Mitarbeiter

Diplomanden der
Fachhochschule
Dortmund

Externe

Kooperationspartner
AUTOKABEL,
Mönchengladbach,
Institut für Mikro-
elektronische Systeme
(IMS) der Fraunhofer-
gesellschaft Duisburg,
P+K Elektronik,
Dortmund

Finanzierung

Fachhochschule
Dortmund,
Forschungssemester

Kontakt

Prof. Dr.-Ing.
Gerhard Babel,
Fachbereich
Informations- und
Elektrotechnik,
Fachhochschule
Dortmund,
Sonnenstraße 96,
44139 Dortmund,
Telefon:
(0231) 9112-172

Einleitung

In den Jahren 1998/99 ist in einem Knowhow-Verbund zwischen der FH-Dortmund, dem IMS und der Firma Autokabel ein Halbleiterschalter in einem speziellen Kunststoffgehäuse entwickelt worden. Dieses Bauteil ist in der Lage, Ströme über 1000A bei 12/24V-Spannungsversorgung zu schalten. Der Halbleiterschalter kann in 12V/24V-Bordnetzen universell eingesetzt werden z. B. als verschleißfreier Anlasserschalter, Transportschalter (zur Abtrennung der Fahrzeugbatterie bei Überseetransporten), Verpolschutzschalter oder als intelligente Hochstromsicherung.

Das Kunststoffgehäuse führt allerdings bei hohen Umgebungstemperaturen zur beschleunigten Alterung. Diese für den Fahrzeugeinsatz stark einschränkende Eigenschaft war Anlaß nach alternativen Verpackungstechnologien zu suchen. In meinem Forschungsfreisemester habe ich die Entwicklung von metallischen Gehäusen für den Einsatz bei Umgebungstemperaturen bis 85° vorangetrieben sowie an der Optimierung der intelligenten Regelung zur Ansteuerung des Hochstromschalters gearbeitet.

1. Stand der Technik des Halbleiterschalters im Kunststoffgehäuse

Für den Halbleiterschalter entwickelte das IMS einen DMOS in Trenchtechnologie. Seine wesentlichen Eigenschaften sind:

- Abmessungen des Chips: 7mm * 7 mm * 0,15mm
- RON < 0,6mΩ (Chip)
- UDSmax = 40V
- I_{max} = 1200A
- Dauer = 120A
(Presskontaktierung bei TU=85°C)
- T_{max} = 150°C am Chip

Getestet wurde der Chip zuvor im Kunststoffgehäuse als Anlasserschalter auf einem Prüfstand bei VW unter folgenden Bedingungen:

- 1,7kW Anlasser an 4Zylinder TDI- Motor gefüllt mit SAE 80 Getriebeöl bei T = -30°C
- (Batterie auf Raumtemperatur)
- 10 Sekunden starten und durchdrehen des Anlassers, 15min Pause
- (Abkühlung des Anlassers und Laden der Batterie)
- 5000 Starts mit max. 1200A Anlasserspitzenstrom und ca. 600A Durchdrehstrom

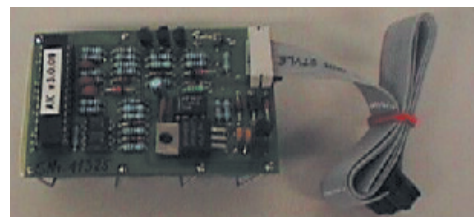
Dieser Versuch wurde vom Bauteil schadlos überstanden. Bei dieser Testreihe wurden einige Anlasser und Batterien verschlissen.

Bei Einsatz eines 2,2kW Anlassers treten Spitzenströme von 1450A und Durchdrehströme von ca. 900A auf. Diese Belastung wird von einem Chip nicht bestanden, jedoch in der Parallelschaltung von zwei Chips.

1.2 Elektronik

Zur Ansteuerung des Halbleiterschalters ist eine etwa checkkartengroße Elektronik mit 8bit-µP entwickelt worden. Diese erfüllt im Wesentlichen folgende Funktionen:

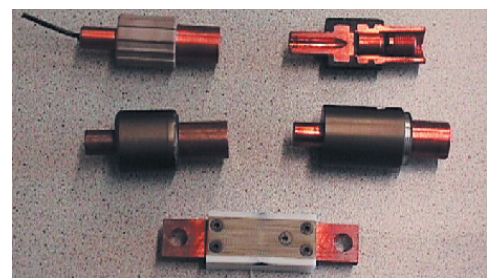
- Sleepmodus gesteuert über Kl.15 (Zündschlüssel Ein)
- Bereitstellung der Gatespannung von 10V über Bordnetzspannung
- Entprellen eines eventuell mechanisch erzeugten Eingangssignals
- Abschalten, falls die Bordnetzspannung unter 6V absinkt
- Abschalten bei Überstrom
- Geregelttes EIN/AUS des Hochstroms (siehe Anhang)



Die Elektronik befindet sich im Prototypenstadium. Verbesserungswürdig ist vor allem die Baugröße. Durch Einsatz von SMD (Surface Mount Device) kann die Baugröße halbiert werden. Für den Serieneinsatz kann durch den Einsatz eines ASIC (application specific integrated circuit) die Baugröße weiter verkleinert werden.

2. Neue Bauformen

Im Frühjahr 2000 sind alternativ zum Kunststoffgehäuse weitere Packaging-Varianten entwickelt worden. Diese vergleichend zur bestehenden Entwicklung im Kunststoffgehäuse und zu anderen vorhandenen Lösungen zu untersuchen war Ziel des Forschungssemesters.



Von links oben nach rechts unten:
1. Kunststoffgehäuse, 2. Schraublösung im Kunststoffgehäuse, 3. Angepresstes Metallgehäuse, 4. Verschraubtes Metallgehäuse, 5. Löt/Bondverpackung in Vergußform

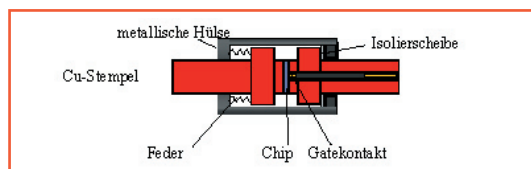
Von der 1. Bauform sind einige Hundert im Hilfswerkzeug produziert worden. Nachteilig sind die Alterung im Kunststoffgehäuse (ca. 5% in 1000h) und die Instabilität bei hohen Temperaturen. Die 2. Bauform zeigt eine Lösung bei der der Chip nachträglich im Kunststoffgehäuse eingefügt und verschraubt wird. Für die Alterung gilt das gleiche wie für die 1. Bauform.

Die Lösungen (3.) und (4.) besitzen metallische Gehäuse, die ähnlich wie der dry contact eines Hochspannungsthyristors den Chip über Druckstempel kontaktieren. Das Metallgehäuse muß dabei über keramische Elemente elektrisch isoliert sein.

Die dry contact Gehäuse besitzen eine bis zu 100-fach höhere Lebensdauer (Schaltzyklen) als gebondete Halbleiter. Das besondere an den Eigenentwicklungen (3., 4.) ist ein besonders hoch eingestellter Druck, der durch die Metall/Keramikmaterialien auf die Lebensdauer des Bauteils erhalten bleibt. Deshalb sollte speziell diese Verpackungstechnik für den Fahrzeugeinsatz optimiert und erprobt werden.

Von der Produktionsseite her ist die Löt/Bondtechnik (5.) heute Stand der Technik bei herkömmlichen Transistoren. Die ersten Vergleichsmessungen zeigten, dass sowohl der elektrische wie auch der Wärmewiderstand ca. doppelt so hoch sind wie in der Druckkontaktierung (1.-4.). Die Bondtechnik besitzt allerdings den Vorteil, dass beim Bauteildefekt durch Überstrom die Bonddrähte wie Schmelzsicherungen zur Trennung der Kontakte führen. Diese Variante ist sehr kostengünstig, vor allem wenn mehrere Chips parallel geschaltet werden müssen. Außerdem stellt diese Verpackung keine hohen Anforderungen an die Präzision der Einzelteile.

3. Untersuchungen am Halbleiterschalter im metallischen Gehäuse



Prinzipkizze (Patent der Firma AK)

3.1 Hochstromversuche

Für den Einsatz als universeller Hochstromschalter sind sowohl die Schaltzyklenzahl (Anlasserschalter) sowie die Dauerstromtragfähigkeit (Transportschalter) über die gesamte Lebensdauer von Bedeutung.

Die Alterung des Bauteils ist meßbar über die Änderung des elektrischen Widerstands zwischen den Hauptstromkontakten.

Bei Schaltvorgängen kommt es zu unterschiedlichen Wärmeausdehnungen zwischen dem Silizium des Halbleiterchips, den Al-beschichteten Oberflächen und den Cu-Kontaktstempeln. Dies wiederum führt zu einer thermomechanischen Reibung und beeinflusst maßgeblich die Alterung des Bauteils.

Die Alterung wird außerdem auch durch Feuchteeinwirkung im Kontaktbereich beeinflusst. Feuchte zwischen Cu und Al bewirkt die Auflösung des Al durch elektrolytische Korrosion. Die Oxidation der Kontaktflächen ist auch in trockener Umgebung problematisch, diese wird natürlich bei erhöhten Temperaturen (Chiptemperaturen bis 150°C) beschleunigt. Zwei Prüfmethode sollten eine erste Einschätzung der Lebensdauer und Stabilität ermöglichen:

- 1. Methode:

In einem Dauerprüfstand sind 25 H4-Lampen mit einer Gesamtleistung von 2,75kW parallelgeschaltet worden, um als möglichst verschleißfreie Last zu dienen. Das zu überprüfende Bauteil wurde in einer Klimakammer untergebracht. Die Lampen wurden über den zu untersuchenden Halbleiterschalter im Rhythmus einige Sekunden „Ein“ und einige Sekunden „Aus“ geschaltet. Das Verhältnis der Ein-Auszeiten wurde zwischen 80% und 50% variiert. Die relativ langen Auszeiten waren erforderlich um die Lampen abzukühlen, damit bei jedem Einschalten ein Kaltstartverhalten vorliegt.

- 2. Methode

Speziell für den Einsatz als Anlasserschalter war ein Anlasserprüfstand entwickelt worden (Ingenieurarbeit Kastrop/Kurowski) An diesem Versuchsstand wurde das Schalten eines 3kW-Anlassers bei Raumtemperatur mit verschiedenen Lastmomenten durchgeführt. Der 3kW Anlasser wurde von VW zur Verfügung gestellt, er wird für 10- und 12-Zylinder Diesel-Pkw zum Einsatz kommen. Die Lastmomente werden durch eine Reibbremse (siehe Foto des Prüfstandes) erreicht.

3.2 Wärmemessungen

Parallel zur Messung des Hochstroms und des elektrischen Widerstands sind während der Schaltversuche die Gehäusetemperaturen gemessen worden (Beispiel Abb. 4). Mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente sind Wärmeverteilungsberechnungen auf dem Chip bereits im Vorfeld durchgeführt worden. Ein neuer Versuch war es, den Chip zwischen zwei Folienleitern einzuschwei-

ßen und die Wärmeverteilung mit einer hochauflösenden Infrarotkamera aufzunehmen. (Abb. 5). Dadurch konnte der Strom bzw. die Verlustleistung ermittelt werden, die der Chip ohne kühlende Hochstromkontakte verarbeiten kann.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Versuche dienten einer ersten Orientierung insbesondere im Vergleich zum Kunststoffgehäuse. Die Ergebnisse der Versuche an Mustern mit metallischen Gehäusen sind weitaus besser als die Versuche mit Kunststoffgehäusen, weil gerade im Dauerbetrieb die Kunststoffgehäuse bei hohen Temperaturen in einen instabilen Zustand gelangten. Mit den metallischen Gehäusen erreicht man bei +85°C und 90% rel. Feuchte einige 10000 Schaltzyklen und Dauerströme bis 120A ohne Einsatz zusätzlicher Kühlkörper. Die Spitzenstrombelastung (mit einem Chip) liegt bei 1600A. (siehe Abb. 3).

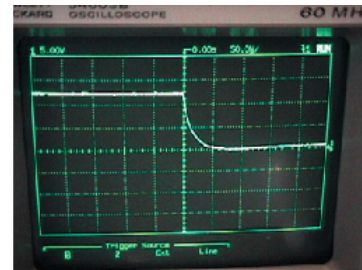
Das Bauteil im Metallgehäuse schaltet diesen Spitzenstrom und darüber hinaus für einige Sekunden einen Dauerstrom von ca. 1200A. Dieser Strom entsteht, wenn der Anlasser blockiert wird. In der Praxis wird dieser Fall nicht auftreten, weil die Ansterelektronik nach ca. 300ms abschalten würde.

Ohne Zweifel ist mit diesem Packaging einen Durchbruch in Richtung Langzeitstabilität erzielt worden. Für den Serieneinsatz im Fahrzeug ist noch das Verhalten im abgedichteten Gehäuse zu untersuchen. Der Automobilhersteller DaimlerChrysler will dieses Bauteil in einer Entwicklungskooperation mit den Projektbeteiligten zur Serienreife führen.

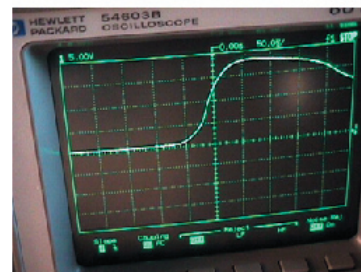
5. Anhang



Abb. 1: Foto des Anlasserprüfstands



y-Achse: 5V/div
x-Achse: 50µs/div



y-Achse: 5V/div
x-Achse: 50µs/div

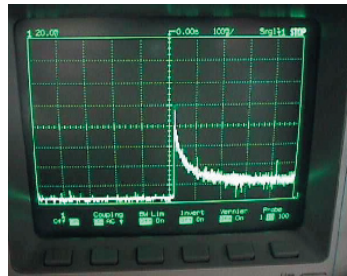
Abb. 2: Spannungsverlauf über dem Schalter beim Ein- und Ausschalten

Beim Ausschalten (Loaddump) entsteht ein Elektronenstau auf dem Sourcekontakt des Schalters was zu einer Spannungsüberhöhung führt. Die Spannungsüberhöhung (Induktionsspannung) ist abhängig von der Schaltgeschwindigkeit und der Induktivität im Lastkreis ($L \cdot di/dt$). Nur durch ein geregeltes Ausschalten der Ansterelektronik kann eine übermäßige Spannungserhöhung vermieden werden. Im Vergleich zu einem mechanischen Schalter bedeutet dies auch ein „sanfteres Schalten“ und man erreicht damit eine erhöhte Lebensdauer der angeschlossenen elektrischen Verbraucher (z. B. des Anlassers). Auch beim Schalten von Glühlampen treten extreme Schaltspitzen auf, weil im Moment des Einschaltens die Glühfäden noch kalt sind und einen wesentlich geringeren elektrischen Widerstand aufweisen als im heißen eingeschalteten Zustand.

Im Dauerprüfstand sind 25 H4-Lampen mit einer Gesamtleistung von 2,75kW parallel von einem Chip geschaltet worden, dabei treten im Einschaltmoment Stromspitzen über 1400A im Millisekundenbereich auf. Im unregulierten Fall führt dies zu Spannungsspitzen von einigen kV, was zur sofortigen Zerstörung des Schalters führen würde. Im geregelten Fall treten weder Spannungs- noch Stromspitzen auf.

Die Induktionsspannungen verursachen auch elektromagnetische Störfelder, die wiederum andere elektronische Schaltkreise im Fahrzeug

stören können. Durch das geregelte Ein- oder Ausschalten wird somit auch eine optimale elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) erreicht.



x-Achse: 100ms/div
y-Achse: 333A/div
Peak: 1600A

Abb. 3: Typischer Stromverlauf beim Startvorgang eines 3kW-Anlassers

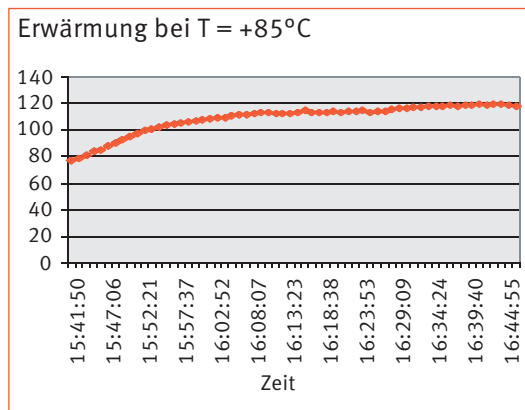


Abb. 4: Erwärmung des Schalters bei +85°C Umgebungstemperatur zyklisches Schalten 200

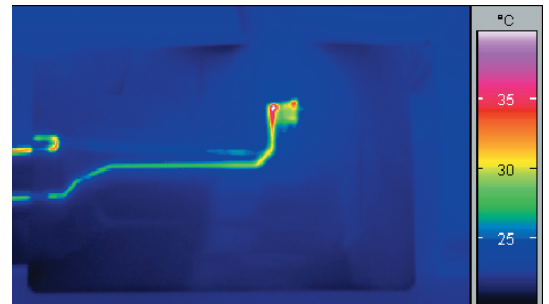


Abb. 5: Infrarotaufnahme des Chips eingeschweißt zwischen zwei Folienleitern

Verlustleistung $P_V = 1,225W$ entsprechend $I = 35A$
(Infrarotaufnahme Prof. Dr. W. Hillen, FH-Aachen)

6. Quellenverzeichnis

www.infineon.de

F. Schörlin, MOS-Bauelemente in der Leistungselektronik, Franzis-Verlag

Ingenieurarbeit Kastrop/Kurowski, Entwicklung eines Anlasserprüfstands, FH-Dortmund, FB6

Ingenieurarbeit Trox/Weinbrich, Dokumentation der Ansteuereinheit DMOS, FH-Dortmund, FB6