

Schutz von IGBTs durch Strommessung mit optischen Trennverstärkern

White Paper

Von Hong Lei Chen, Product Manager, Avago Technologies

Kurzbeschreibung

Um Schäden und Fehlfunktionen z.B. durch Kurzschlüsse, Überlast und Überspannungen zu vermeiden, müssen isolierte bipolare Gate Transistoren (Insulated Gate Bipolar Transistors – IGBTs) besonders geschützt werden. Dieser Schutz ist besonders wichtig, um einen sicheren und stabilen Leistungswandlerbetrieb in Motorantrieben und Solar- und Windenergieanlagen zu gewährleisten. Überströme und Überlastbedingungen werden durch Trennverstärker mit schneller Reaktionszeit oder einer schnellen Fehlerrückmeldung erkannt, die in den Ausgangsphasen und im DC-Bus eingesetzt werden.

Einleitung

Bild 1a zeigt das typische Schaltbild eines Leistungswandlers in einem AC-Motorantrieb. Es besteht aus einem Wandler, der die DC-Bus-Spannung in AC-Leistung mit variablen Frequenzen wandelt, um den Motor anzutreiben. IGBTs sind teure Leistungsschalter und bilden das wichtigste Element eines Wandlers. Diese Leistungsbausteine müssen bei hohen Frequenzen arbeiten und hohe Spannungen aushalten.

Trennverstärker (Iso-Amps) wie der ACPL-C79A^[1] in Bild 1b (Ausschnitt aus Bild 1a) arbeiten in Verbindung mit Shunt-Widerständen, um eine präzise Strommessung in Leistungswandlern auch bei großem Schaltrauschen sicherzustellen. Trennverstärker arbeiten als genaue Spannungssensoren, wenn sie zur Überwachung der DC-Bus-Spannung zusammen mit einem Widerstandsteiler eingesetzt werden. Die Strom- und Spannungsinformationen vom Iso-Amp werden vom Mikrocontroller gesammelt, der wiederum diese Daten zur Berechnung von Feedback-Werten und Ausgangssignalen nutzt und so eine effektive Steuerung und ein Fehler-Management im Leistungswandler sicherstellt.

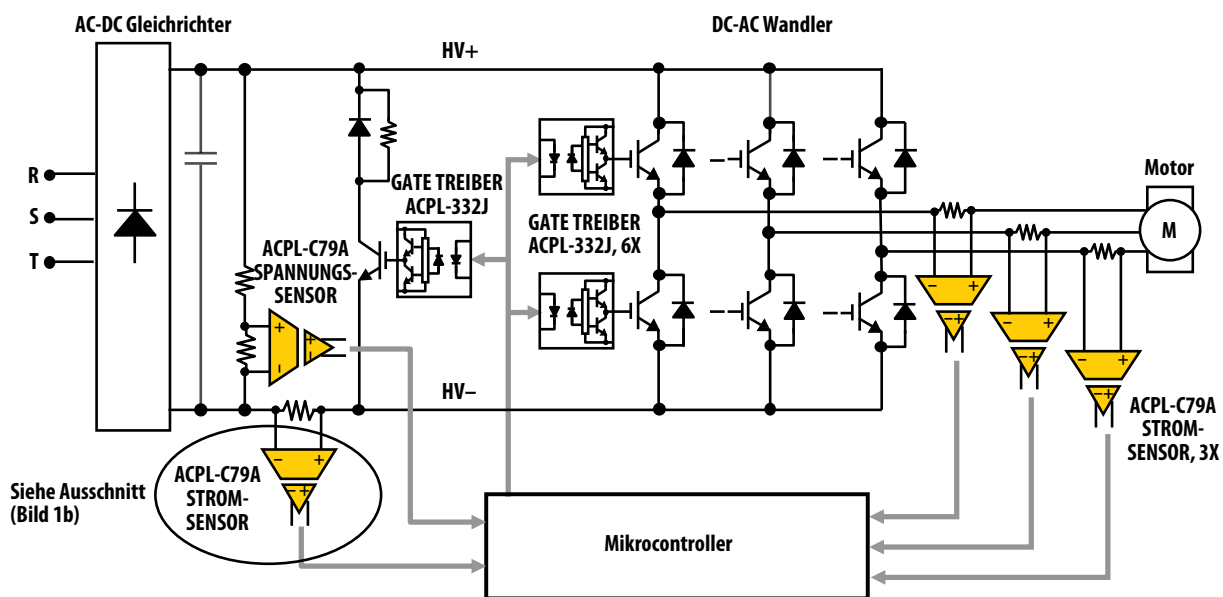


Bild 1a. Blockschaltbild eines Leistungswandlers in einem Motorantrieb

Anforderungen an den Fehlerschutz

In einem Wandler sind die IGBTs die teuersten Bauelemente. Darum ist es sinnvoll, sie so gut wie möglich vor Zerstörung zu schützen. Der Iso-Amp von Avago bietet eine schnelle Erkennung von Fehlerbedingungen, und der Algorithmus, den der Mikroprozessor durchführt, wird Fehlerbedingungen vermeiden, die den Ausfall des IGBTs verursachen würden. Zusätzlich verhindert die optische Isolation des Iso-Amps Fehler durch Überlast des Mikrocontrollers und einen dadurch bedingten Ausfall.

Auf jeden Fall muss der IGBT Schutz kostengünstig sein und darf die Gesamtkosten eines Motorantriebes nicht merklich beeinflussen. Um diesen Forderungen zu genügen, wurden IGBT-Treiber (wie der ACPL-332J^[1]) und Stromsensoren mit Schutzfunktionen eingeführt, die neben ihrer Treiber- und Messfunktion auch wichtige Fehlererkenntnisse durchführen. Diese Produkte bieten einen kostengünstigen Ansatz für die Implementation des IGBT Schutzes. Separate Bauteile für Erkennung und Feedback sind nicht mehr notwendig. In den Literaturhinweisen^[2,3] finden Sie Details zu den Schutzmerkmalen der Gate-Treiber von Avago und wie man diese Features in IGBT Schutz-Applikationen einsetzt. Im Folgenden besprechen wir einige der Fehlerschutz-Funktionen, die mit Strom/Spannungssensoren implementiert werden können (siehe Tabelle 1).

Überspannungserkennung

Überspannungssituationen können auf Grund von Kurzschlüssen zwischen zwei Phasen, Masseschluss oder Wechselrichterkippen (Shoot Through) entstehen. Die Strom messenden Bauteile – Shunt und Iso-Amp – an den Ausgangsphasen und DC-Bus bieten außer der Strommessung auch eine Fehlererkennung (siehe Bild 1). Eine typische IGBT Kurzschluss-Überlebenszeit liegt bei $10 \mu\text{s}$ ^[4, 5]. Um einen sicheren Schutz zu gewährleisten, sollte dieses Limit nicht überschritten werden. Innerhalb dieses Limits muss der Fehler erkannt und an den Controller gemeldet werden, und die Abschaltprozedur muss innerhalb dieses Zeitraums abgeschlossen sein. Um dies zu erreichen, wenden Iso-Amps unterschiedliche Methoden an.

Der ACPL-C79A zum Beispiel hat eine kurze, nur $1,6 \mu\text{s}$ dauernde Antwortzeit für einen Eingabeschritt. Dadurch kann der Iso-Amp Transienten bei Kurzschlüssen und Überlastbedingungen erfassen (siehe Bild 2)^[6]. Die Signallaufzeitverzögerung von Eingang zu Ausgang der Signalmittelpunkt beträgt nur $2 \mu\text{s}$, während das Ausgangssignal nur $2,6 \mu\text{s}$ braucht, um den Eingang einzuholen und dabei 90% der endgültigen Signalthöhe zu erreichen.

Neben der schnellen Antwortzeit liefert der ACPL-C79A $\pm 1\%$ Verstärkungsgenauigkeit, eine hervorragende Nichtlinearität von $0,05\%$ und ein SNR (Signal-to-Noise Ratio) von 60 dB. Ebenfalls lieferbar sind der ACPL-C79B mit einer höheren Verstärkungsgenauigkeit von $\pm 0,5\%$ sowie der ACPL-C790 mit einer Verstärkungstoleranz von $\pm 3\%$. Alle Bauteile der ACPL-C79A Serie sind für eine Betriebsisolationsspannung von $1230 V_{\text{peak}}$ zertifiziert und können Gleich-taktschwankungsrauschen bis zu $15 \text{ kV}/\mu\text{s}$ abwehren. Diese Eigenschaften werden in einem „gestreckten“ SO-8 Gehäuse geliefert, das eine um 30% kleinere Bodenfläche hat als ein übliches DIP-8 Gehäuse.

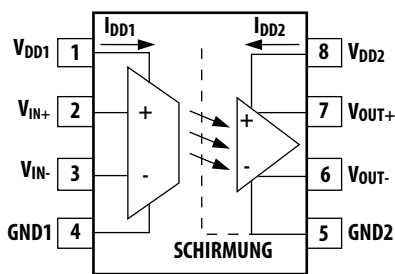


Bild 1b. (Ausschnitt aus Bild 1a) Vereinfachte Grafik des Trennverstärkers ACPL-C79A

Tabelle 1. Fehlerschutz-Bedingungen und -probleme

Bedingung	Mögliche Ursache	Möglicher Schaden	Schutzmaßnahme
Überstrom	Kurzschluss zwischen zwei Phasen, Masseschluss, Wechselrichterkippen (Shoot Through)	Wandler, thermische Überlastung des Motors	Überstromerkennung des Stromsensors
Überlast	Abwürgen des Motors, Überlast	Wandler, Überhitzung des Motors	Überlasterkennung des Stromsensors
Überspannung des DC-Busses	Regenerativer Stromfluss erzeugt hohe Spannungsspitzen	Leistungsbauteile und andere Komponenten	Einsatz von Iso-Amps als Spannungssensor am DC-Bus, Spannung überwachen

Ein anderes Beispiel ist der HCPL-788J von Avago, der einen anderen Ansatz nutzt, um eine schnelle Ansprechzeit bei der Überspannungserkennung zu erzielen (Bild 3)^[7, 8]. Zusätzlich zum Signal-Ausgangsanschluss hat er einen Fehler-Anschluss, der schnell vom High zum Low Level umschaltet, um eine Überstrom-Bedingung anzuzeigen. Dieser Iso-Amp hat eine Messgenauigkeit von $\pm 3\%$.

Ein Problem in einem Fehlerückkopplungssystem ist die Fehlerauslösung (nuisance tripping). So nennt man ein falsches Triggern der Fehlererkennung, wenn es eigentlich keine Fehlerbedingung gibt, die das IGBT zerstören könnte. Um falsches Triggern zu vermeiden, enthält der HCPL-788J eine Impulsdiskriminator-Schaltung, die den Einfluss von di/dt und dv/dt Spannungsspitzen ausblendet. Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Unterdrückung von der Amplitude unabhängig ist – das heißt, der Fehlerschwellenwert kann auf ein sehr niedriges Niveau gesetzt werden, ohne dass das Risiko einer Fehlerauslösung erhöht wird.

Um eine schnelle Fehlererkennung zu realisieren, werden in der Schaltung zur Erkennung eines negativen oder positiven Fehlerschwellenwertes zwei Komparatoren im Fehlererkennungsbereich eingesetzt. Der Schaltschwellenwert ist gleich der Sigma-Delta Modulator-Referenz von 256 mV. Die Ausgänge dieser Komparatoren sind mit Austastfiltern mit einer Austastperiode von $2 \mu\text{s}$ verbunden und werden dann zum Encoderblock geschickt.

Der Fehlerstatus muss so schnell wie möglich über die Isolationsgrenze geschickt werden. Hierzu werden zwei eindeutige digitale Code-Sequenzen eingesetzt, die die Fehlerbedingung darstellen: ein Code für den negativen und einer für den positiven Level. Wird ein Fehler erkannt, dann wird die normale Datenübertragung durch den optischen Kanal unterbrochen und der Bitfluss durch den Fehlercode ersetzt. Diese beiden Fehlercodes unterscheiden sich erheblich vom normalen Codierungsschema. Dadurch wird auf der Detektor-Seite der Code sofort als Fehlerbedingung erkannt^[8].

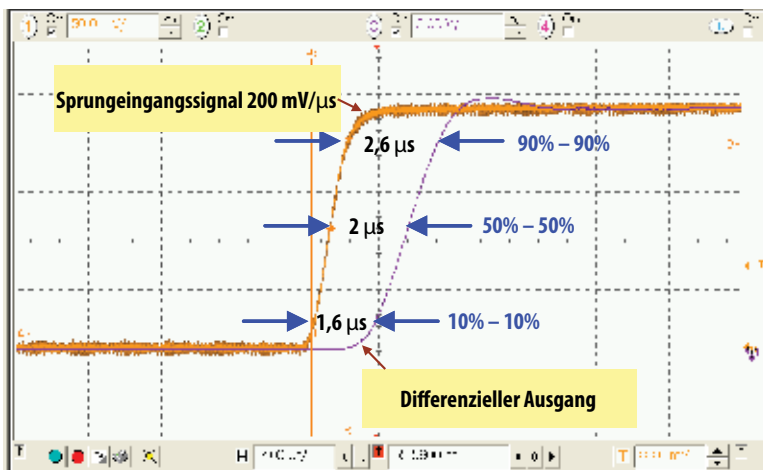


Bild 2. Der ACPL-C79A mit einer Transienten-Reaktion von $1,6 \mu\text{s}$ erkennt Überlast und Kurzschluss-Ströme.

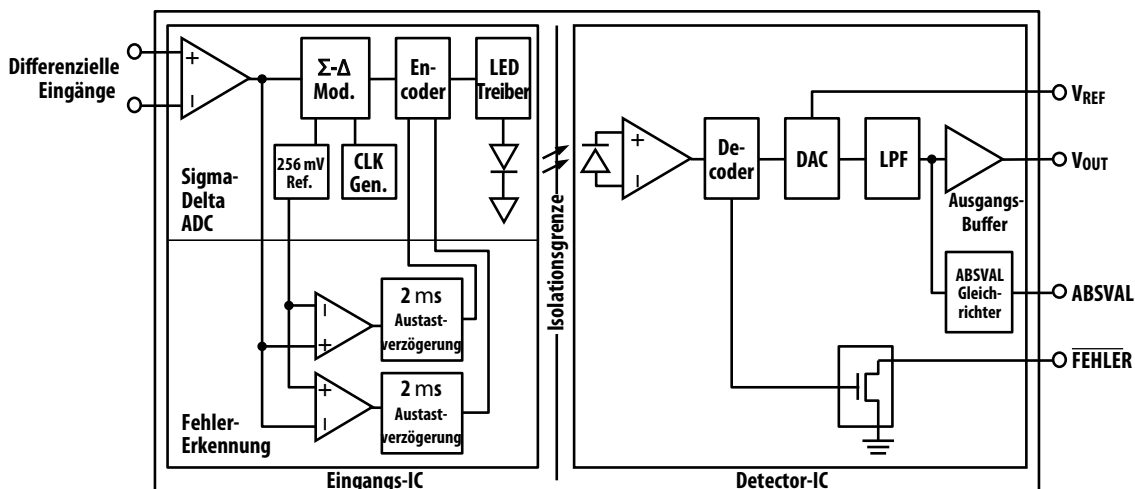


Bild 3. Im Iso-Amp HCPL-788J wird die differenzielle Eingangsspannung digital durch einen Sigma-Delta AC Konverter decodiert und dann zum LED-Treiber geleitet. Dieser sendet die Daten über die Isolationsgrenze an einen Detektor und DA-Wandler, der die Daten wieder in ein Spannungs- und Fehlersignal wandelt.

Die Zeit, die der Decoder benötigt, um Fehlerbedingungen zu erkennen und über die Isolationsgrenze zu übertragen, beträgt circa 1 μs . Addiert man die Anti-Aliasing Filterverzögerung von 400 ns hinzu, ergibt sich eine Verzögerungszeit von 1,4 μs . Die Verzögerung zwischen Fehlerereignis und dem Fehlerausgangssignal ist die Summe aus Verzögerungszeit und Austastperiode (2 μs). Daraus ergibt sich eine Gesamt-Fehlererkennungszeit von 3,4 μs (siehe Bild 4).

Der Fehlerausgangs-Anschluss ermöglicht es, die Fehlersignale mehrerer Bauteile miteinander zu verbinden. Damit werden mehrere Bauteile Wire-OR verknüpft und erzeugen ein einzelnes Fehlersignal (siehe Bild 5, oben rechts)^[7]. Dieses Signal könnte benutzt werden, um die PWM-Eingänge direkt durch die Steuerung abzuschalten.

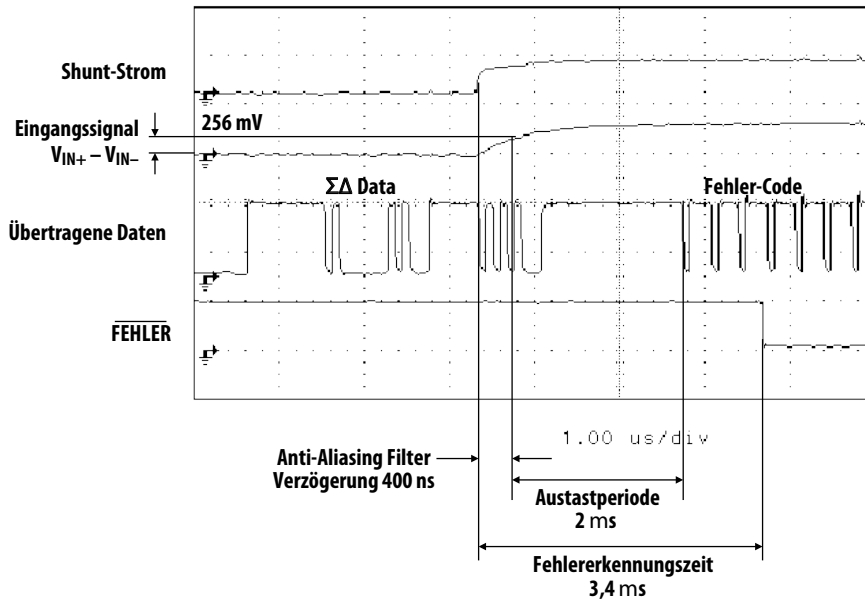


Bild 4. Fehlererkennungszeit des Trennverstärkers HCPL-788J

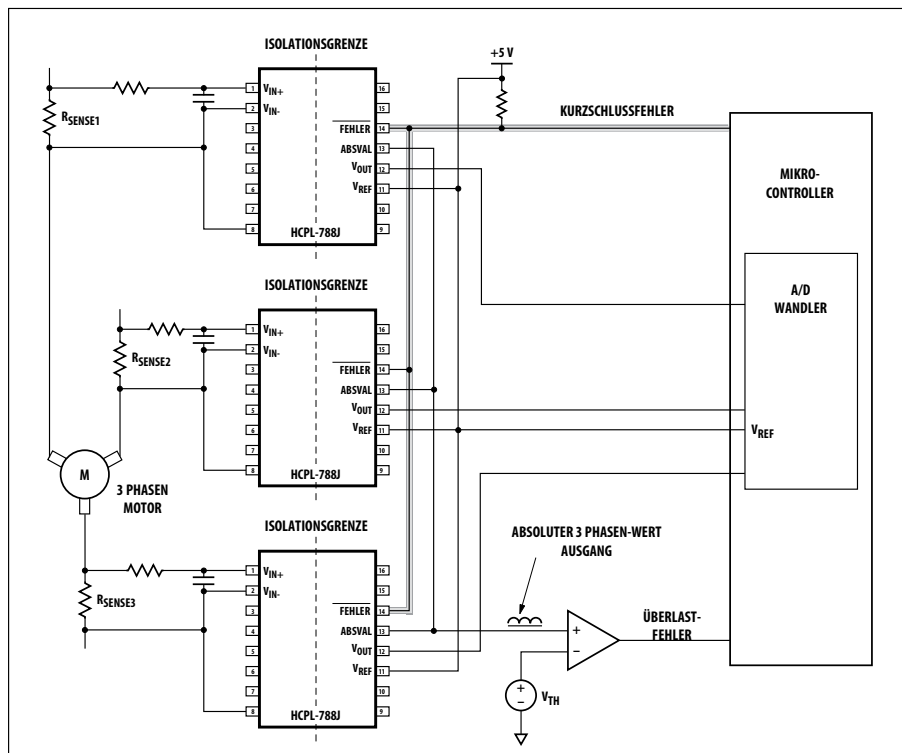


Bild 5. HCPL-788J Verbindungsschaltplan (Wire-OR) mit Fehlererkennungs-Signalen

Überlasterkennung

Eine Überlastbedingung besteht in einer Situation, in der der Motorstrom höher liegt als der geplante Wert des Antriebs, jedoch nicht so hoch, dass der Inverter oder Motor sofort Gefahr laufen würde auszufallen. Der Motor könnte z.B. mechanisch überlastet sein oder die Drehzahl fällt auf Grund eines Lagerschadens ab.

Inverter werden normalerweise mit einer Überlast-Grenze zusätzlich zur Nominalbelastung definiert. Die Zeitdauer der Überlast-Grenze ist abhängig von der Zeit, bis eine Überhitzung zum Problem wird. Eine typische Überlast-Grenze beträgt 150% der Nominallast für eine Zeitdauer von einer Minute.

Der ACPL-C79A akzeptiert eine Eingangs-Bandbreite von +-300 mV. Die Spezifikationen im Datenblatt basieren auf einer nominalen Eingangs-Bandbreite von ±200 mV. Der Entwickler kann den Überlastbereich entweder mit einer der beiden Zahlen definieren als auch mit einem Wert dazwischen. Ist die Messgenauigkeit des Überlaststromes weniger zwingend im Vergleich zum nominalen Betriebsstrom – wie es normalerweise der Fall ist – dann wäre es richtig, sich für einen Wert in der Nähe von 300 mV zu entscheiden, denn so kann man den vollen Iso-Amp Dynamikbereich nutzen. Auf jeden Fall garantiert der Einsatzpunkt bei 200 mV die Messgenauigkeit des Überlaststromes. Hat sich der Entwickler für die Spannungsgrenzen entschieden, muss er nur noch die passenden Sensor-Widerstandswerte entsprechend der Stromhöhe errechnen.

Der HCPL-788J von Avago bietet noch ein weiteres Merkmal: den ABSVAL-Ausgang. Er wird verwendet, um die Überlast-Erkennungsschaltung zu vereinfachen. Die ABSVAL-Schaltung wandelt das Ausgangssignal und liefert ein zum absoluten Level des Eingangssignals proportionales Ausgangssignal nach der Formel:

$$\text{ABSVAL} = |V_{\text{IN}}| \times \frac{V_{\text{REF EXT}}}{252 \text{ mV}}$$

Dieser Ausgang ist ebenfalls Wire-OR geeignet. Werden drei sinusförmige Motorphasen kombiniert, ist der gewandelte Ausgang (ABSVAL) im wesentlichen ein DC-Signal und entspricht dem RMS-Motorstrom. Dieses DC-Signal und der Schwellwert-Komparator zeigen Motor-Überlast-Bedingungen an, ehe Ausfälle am Motor oder Treiber auftreten (siehe Bild 5, rechts unten).

Überspannungserkennung

Die DC-Bus-Spannung muss immer unter Kontrolle sein. Unter bestimmten Betriebsbedingungen kann ein Motor wie ein Generator arbeiten und liefert über den Leistungswandler und/oder die Freilaufdioden eine hohe Spannung zurück in den DC-Bus. Diese hohe Spannung addiert sich zur DC-Bus-Spannung und bildet eine sehr hohe Spannungsspitze an den IGBTs. Diese Spitze könnte die maximale IGBT Kollektor-Emitter-Spannung überschreiten und einen Ausfall verursachen.

Der Miniatur Iso-Amp (ACPL-C97A) wird oft als Spannungssensor in DC-Bus-Überwachungssystemen eingesetzt (Bild 6). Ein Entwickler muss die DC-Bus-Spannung verringern, um sie an den Eingangsbereich des Iso-Amps anzupassen. Dies geschieht durch eine dem Verhältnis entsprechende Auswahl der Werte von R1 und R2.

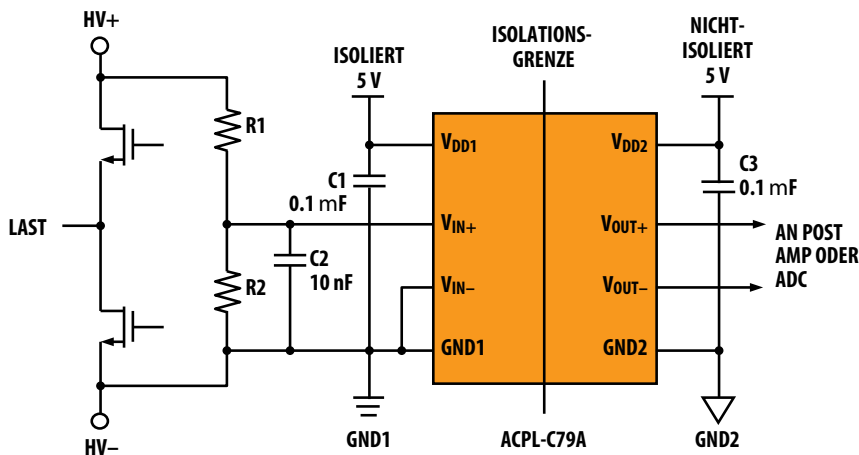


Bild 6. Einsatz des ACPL-C79A von Avago für die Spannungsmessung

Fazit

Zusätzlich zur Strom-/Spannungsmessung bieten Trennverstärker von Avago Technologies eine effektive Methode, um IGBTs gegen Überströme, Überlast und Überspannungen zu schützen. Bei Einsatz des Iso-Amps ACPL-C79A zusammen mit einem vielseitigen Gate-Treiber wie dem ACPL-332J kann man ein preisgünstiges, komplettes IGBT-Schutzsystem aufbauen.

Referenzen

1. ACPL-C79A Datenblatt, Avago Technologies, AV02-2460EN.
2. ACPL-332J Datenblatt, Avago Technologies, AV02-0120EN.
3. Hong Lei Chen und Chun Keong Tee, „Using gate drive Optocouplers in IGBT protections,“ EETimes Europe, Dezember 2010, Seiten 28-31.
4. Terje Rogne, „Short-Circuit Capability of IGBT (COMFET) Transistors,“ IEEE, 1988.
5. J. Li, R. Herzer, R. Annacker, B. Koenig, „Modern IGBT/FWD Chip Sets For 1200 V Applications“, Semikron Elektronik GmbH, 2007.
6. ACPL-C79B, ACPL-C79A, ACPL-C790 Precision Miniature Isolation Amplifiers Data Sheet. Avago Technologies, AV02-2460EN.
7. HCPL-788J Datenblatt, Avago Technologies, AV02-1546EN.
8. Patrick Sullivan, Denis Kobasevic, „Smart Current Sensor For Motor Drive Control“. PCIM Europe, 1998, Ausgabe 10 Nr. 4, Seiten 182-186.

Weitere Produktinformationen und eine vollständige Liste der Distributoren finden Sie unter: www.avagotech.com

Avago, Avago Technologies und das A Logo sind Markenzeichen von Avago Technologies in den Vereinigten Staaten von Amerika und anderen Ländern.

Daten vorbehaltlich Änderungen. Copyright © 2005-2012 Avago Technologies. Alle Rechte vorbehalten.
AV02-3457DE - 23. April 2012

AVAGO
TECHNOLOGIES