

Licht und Schatten bei MOSFET und IGBT

Bodo Art, Consultant im Bereich Leistungshalbleiter

Traditionell haben MOSFETs als Leistungsschalter die bipolaren Transistoren verdrängt. Der MOSFET hat seine Stärken bei hohen Frequenzen und meist geringeren Spannungen gezeigt, wobei der IGBT sich als Leistungsschalter bei Netzspannung und im Antriebsbereich auf breiter Front durchgesetzt hat. Der folgende Beitrag gibt den Entwicklern Hilfestellungen bei der Entscheidung, ob ein MOSFET oder ein IGBT zum Einsatz kommen soll.

Davon ausgehend, dass sich bipolare Transistoren nur noch in Ausnahmefällen in neuen Schaltungsentwürfen finden, ist die Welt von MOS-gesteuerten Transistoren geprägt. Der MOSFET als solcher hat eine lange Entwicklung hinter sich. Strukturen wurden immer weiter verdichtet. Wir reden heute immer seltener über Zelldichte, da viele Chipentwürfe ein Streifen-design und kein Zelldesign aufweisen. Bei höherer Strukturdichte ist die mechanische Justierung der Masken einfacher, da eine Achse fehlertoleranter ist. Beim MOSFET geht die Verdichtung der Struktur einher mit der Abnahme der UIS-Fähigkeit. Die UIS-Fähigkeit ist ein wichtiger Punkt bei der Auswahl des MOSFETs und beschreibt die Fähigkeit, induktive Rückschlagenergie

sich um eine Variante von untergeordneter Bedeutung in der Leistungselektronik. Die Hauptanwendungsgebiete des MOSFETs gliedern sich nach seiner Sperrspannungsklasse. Dabei gibt es ein weites Feld von Anbietern, die Bauteile bis 100 V im Programm haben und so die Bereiche Automobil, Kommunikation, Handheld und sonstige batteriebetriebene Geräte abdecken. Es ist anzumerken, dass MOSFETs sich für Schaltanwendungen bis in den MHz-Bereich eignen. Damit sind sie für Gleichspannungswandler in den oben genannten Anwendungsgebieten der Schalter ohne Alternative bis hin zur synchronisierten Gleichrichtung, die Schottky-Dioden ersetzt. Nun haben Entwicklungen auch den ansteigenden Durchlasswiderstand bei höherer

Der IGBT ist eine vorteilhafte Kombination aus MOSFET und Bipolar-Transistor. Sein Vorteil ist die Spannungs-Ansteuerung wie beim MOSFET und die bipolare Ausgangsstufe mit ihrer Sättigungsspannung. Damit ist das Gesetz des stetig steigenden Durchlasswiderstandes, das beim MOSFET zum Tragen kommt, gebrochen. Darin liegt die besondere Stärke des IGBTs. Betrachtungen von realen Bauteilen haben gezeigt, dass es ab 100 V eine Überschneidung zwischen IGBT und MOSFET gibt. Die bei entsprechenden Anwendungen auftretenden Gesamtverluste (Schalt- und Durchlassverluste) halten sich die Waage. Über 100 V hinaus hat der IGBT seine deutlichen Vorteile – allerdings mit der Einschränkung der möglichen Grenzfrequenzen beim Schalten.

Systemkosten beachten!

Insgesamt ist der Vorteil MOS-gesteuerter Bauteile zusätzlich in dem Ansteuer-IC zu sehen, da hier nur der Lade- und Entladestrom für die Gate-Kapazität benötigt wird. Üblicherweise wird eine Gate-Ansteuerungsspannung von 10 bis 15 V benutzt. Die Gate-Durchbruchspannung liegt irgendwo bei gut der doppelten Spannung. Allerdings ist das Bauteil bereits nach einem Durchbruch geschädigt oder fällt aus. Auch gibt es spezielle MOSFETs und IGBTs, die mit 5 V angetrieben werden. Hauptsächliche Anwendung war bisher der Kaltstart im Automobil, der bei deutlicher Unterschreitung einer Batteriespannung von 12 V diese auch Logikpegel-MOSFETs genannten Bausteine zum Masseneinsatz brachte. Wir kennen dies beim IGBT nur für Zündungs-IGBTs. Bei bipolaren Transistoren ist leicht ein Basis-Ansteuerstrom von einigen Ampere nötig. Dies hat entsprechend stark bemessene ICs zur Folge. Hier nun liegt der Vorteil, Kosten beim IC zu sparen, denn die Treiber auf dem IC können kleiner bemessen werden. Aus diesem Grund ist auf der Kostenseite immer nur eine Betrachtung der Gesamt-Systemkosten sinnvoll.

Das bevorzugte Anwendungsgebiet des IGBTs ist der geregelte elektrische Motorantrieb. In Verbindung mit einer optimierten Freilaufdiode ist der IGBT hier unschlagbar gegenüber dem MOSFET mit seiner Body-Diode, die sich nicht ‚weschalten‘ lässt

Fortsetzung auf Seite 23

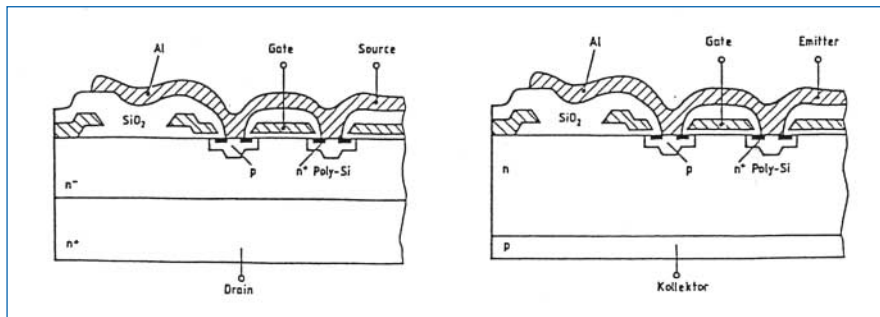


Bild 1: Links der MOSFET und rechts ein IGBT aus der Frühzeit dieser Bauteile (einem Siemensblatt von Herrn Hauenstein und Herrn Tihanyi entnommen).

unschädlich zu absorbieren (UIS: Unclamped Inductive Switching). Dies geht im Prinzip nur durch Umsetzung in Wärme und ist damit auch im Wiederholungsfall nur bis zur Erreichung der noch nicht zerstörenden Sperrschicht-Temperatur zulässig. Höhere Dichte heißt auch höhere Stromtragfähigkeit bei gleicher Chipfläche; damit erhalten wir immer kleinere Gehäuse und Bauteile mit höheren Nennströmen. Die UIS-Fähigkeit ist im Wesentlichen von der Chipfläche und der Chipdicke abhängig. Je dünner der Chip, um so besser ist die thermische Wärmeabfuhr. Der Grenzfall in der Leistungselektronik ist immer vom thermischen Management bestimmt. Im Weiteren ist für den MOSFET die Betrachtung nur auf den selbst sperrenden MOSFET bezogen, da dieser das Bauteil der ersten Wahl in Schaltungsentwürfen ist. Beim selbstleitenden MOSFET handelt es

Spannungsfestigkeit überwunden. Dieser Nachteil traditioneller MOSFETs hat die Anwendung bei höheren Spannungen stets sehr beeinträchtigt. Auch ist der Kostenfaktor Chipfläche dazugekommen. SuperFETs, auch Coolmos genannt, haben sich in den letzten Jahren für Netzteil-Anwendungen bei 240 V Netzspannung etabliert. Diese MOSFETs stellen eine besondere Generation von MOS-Bauteilen dar und sind auf dem Wege, sich im PFC-Bereich (PFC: Power Factor Correction; korrektur des Leistungsfaktors) zu etablieren. Der Faktor Herstellungskosten begrenzt die breite und allgemeine Anwendung dieser SuperFETs. Ich habe in der Vergangenheit gelernt, dass der Preis die ‚physikalische Größe‘ ist, die den Ausschlag für den Einsatz in der Schaltung gibt. Hier sind wir an die Grenzen der MOSFETs gestoßen und schauen nun auf den IGBT.



all-electronics.de
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante Artikel und News zum Thema auf [all-electronics.de](https://www.all-electronics.de)!

Hier klicken & informieren!



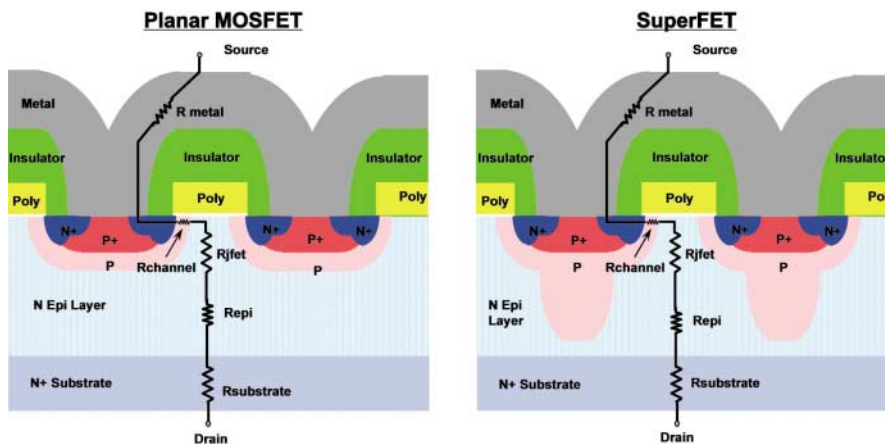


Bild 2: Links ein planarer MOSFET und rechts ein SuperFET.

Quelle: Fairchild

oder nur durch weitere Nachteile in der Beschaltung akzeptabel wird. In aller Regel ist die Body-Diode des MOSFETs um Klassen schlechter als die optimierte diskrete Diode, die dem IGBT angepasst wird. In diesem Fall lassen sich die Schaltverluste sowohl beim Einschalten als auch beim Ausschalten optimiert gering halten.

Wir sehen beim IGBT den Stromschwanz, der im Wesentlichen für die Begrenzung der Schaltgeschwindigkeit verantwortlich ist. Die Optimierung und Reduzierung des Stromschwanzes ist das Ziel aller IGBT-Hersteller.

Wichtige Kenngröße des IGBTs ist weiterhin die Spannungsfestigkeit sowie die Kurzschlussfestigkeitszeit. Diese Kenngröße ist bei entsprechender Ansteuerspannung definiert und hilft dem Hersteller des Wechselrichters, sein Design unzerstörbar zu machen. Im Falle eines Kurzschlusses oder beim Blockieren des Motors erkennt die Steuerungselektronik dies somit und schaltet den IGBT ab. Damit bleibt das Bauteil unversehrt und der Wechselrichter ist nach Beheben des äußeren Fehlers wieder einsatzbereit.

Damit hat sich für unsere Spannungsverhältnisse im Versorgungsnetz Folgendes entwickelt: Für Anwendungen im Drehstromnetz (380/420 V) sind IGBTs mit einer Sperrspannung von 1200 V geeignet. Das breite Feld von Anwendungen bei 220/240 V Wechselstrom wird von IGBTs mit 600 V Sperrspannung bedient.

Für den Einsatz in der Antriebstechnik haben sich Co-Packs, also IGBTs mit Diode in einem diskreten Gehäuse für etwa bis zu 20 A, etabliert, während sich im Bereich höherer Leistungen Module als Sixpack bis hin zum Modul mit Gleichrichtung sowie dem Bremstransistor zusätzlich zum Sixpack im Markt behaupten. Auch die Korrektur des Leistungshalbleiters kann bereits im Modul erfolgen.

Der IGBT hat seine Stärken beim Nennstrom des Bauteils und bei höheren Spannungen. Der Betrieb des IGBTs unterhalb seines Nennstromes kann Nachteile im Durchlassverhalten haben. Es gibt IGBTs sowohl in der 600-V- als auch in der 1200-V-Klasse, aber das obere Ende ist noch nicht abzusehen, da auch IGBTs für einige kV angeboten werden. Hier greift der IGBT den Markt des GTOs an.

Sowohl beim MOSFET als auch beim IGBT setzt sich mehr und mehr das Trench-Design gegenüber dem traditionellen V-Design durch. Hiermit wird eine weitere Optimierung der maximalen Stromtragfähigkeit erreicht. Bauteile mit anscheinend gleichen Leistungsdaten erfordern in der Leistungselektronik immer geringe Anpassung. Im Wesentlichen benötigt man die Abstimmung des Gate-Vorwiderstands.

Abschließend betrachtet ist der MOSFET der Schalter für höhere Frequenzen und üblicherweise geringere Spannung. Der IGBT, bekannt seit der Erteilung des Patentes im Dezember 1982, hat in weniger als einem

Vierteljahrhundert seinen Siegeszug als Leistungsschalter erfolgreich geführt. Seine Väter Becke und Weathley bei RCA haben das Patent auf das damals noch COMFET genannte Bauteil erhalten. Harris hat später die Lizenzgebühren auf Grund dieses Patentes erfolgreich von allen Wettbewerbern eingesammelt.

Heute ist der IGBT ein Bestandteil des Produktspektrums aller wichtigen Hersteller von Leistungshalbleitern. Nur wenige Hersteller haben es nicht geschafft, ordentliche IGBTs zu entwickeln. (av)

Bodo Artl (www.bodoartl.de) arbeitet als Consultant im Bereich Leistungshalbleiter.



MOSFET oder bipolarer Transistor?

Es kommt auf die Anwendung an...

Seit einigen Jahren profitieren MOSFETs von riesigen Investitionen in die Technologie sowie in das Werbe-Budget. Gleichzeitig wurden bipolare Bausteine etwas ins Abseits gedrängt – und zwar in einer Art und Weise, dass viele jüngere Entwickler Bipolar-Bausteine als veraltete Produkte ansehen. Mittlerweile haben Weiterentwicklungen im Bereich der Bipolar-Technologie dazu geführt, dass Bipolare nun wieder zu direkten Rivalen der MOSFETs geworden sind und diese in vielen Anwendungen sogar übertreffen. Es ist daher wichtig, die Kenndaten der Bauelemente sowie die Vorteile jeder einzelnen Technologie genau zu studieren, um die beste Systemleistung zu erzielen.

So sollte man wissen, dass bei ordnungsgemäßer Ansteuerung und bezogen auf die gleiche Chipfläche, bipolare Transistoren mindestens den gleichen, wenn nicht einen besseren On-Widerstand aufweisen als MOSFETs. Diese und andere Aspekte beleuchtet Peter Blair in unserer Web-Applikation zum Thema.

Über infoDIRECT erhalten Sie weitere Produktberichte und Fachartikel zum Thema MOSFET + IGBT.



Parameter	MOSFET	IGBT
Durchlassverhalten	On-Widerstand wirkt strombegrenzend / Steigt mit der Temperatur stark an	Abfall der Sättigungsspannung weitgehend unabhängig von der Temperatur
Schaltverhalten	Geeignet bis in den MHz-Bereich	Üblich bei 20 kHz bis zu 50 / 100 kHz
Spannungsfestigkeit	Hauptanwendung im Bereich bis 100 V möglich bis ca. 2 kV	Von einigen hundert Volt bis in den 3,5-kV-Bereich
Durchlassverluste	Stark von Temperatur und Chipfläche abhängig	Hauptsächlich nur von der Sättigungsspannung
Schaltverluste	Gering, daher geeignet für hohe Schaltfrequenzen	Stromschwanz daher durch die Schaltverluste eingeengt
Hauptanwendungen	Netzteile, Automobil, Kommunikation, Industrie	Netzspannung: Geregelte Antriebe, Unterbrechungsfreie Stromversorgungen

Tabelle 1: Gegenüberstellung der wesentlichen Auswahlkriterien.