Leistungshalbleiter flexibel und exakt charakterisieren

Neue Materialien und Strukturen bei Halbleitern erfordern flexible, aber dennoch hochpräzise Messgeräte für Hersteller und Anwender: Power-Device-Analyzer eröffnen neue Möglichkeiten gegenüber traditionellen Curve-Tracern und schließen die Lücke zwischen einfachem Bedienerkonzept und hoher Messpräzision.

Autor: Norbert Bauer

Volle

Eck-DATEN

Wo früher Curve-Tracern zum Charakterisieren von Leistungshalbleitern ausreichte, sind heute komplexe Power-Device-Analyzer gefragt, um auch SiC- und GaN-Bauelemente erfassen zu können. Praxisnahe Entwicklungen wie ein UHV-Bias-Tee zur Charakterisierung bis 10 kV oder die Integration einer Arbeitsfläche für sehr voluminöse Prüflinge erweitern die Anwendungsmöglichkeiten.

Beispiel-MESSUNGEN

Bild 1 zeigt die Messkurven der wichtigsten Kapazitätswerte von MOSFET-Leistungshalbleitern: Input-Capacitance C_{iss}, Output-Capacitance C_{oss} und Reverse-Transfer-Capacitance C_{rss}. Üblicherweise ist C_{iss} am größten und die Messkurve zeigt nur geringe bis keine Änderungen der Kapazität über der Spannung. Entwickler müssen diesen Kapazitätswert exakt kennen, um die Ansteuerschaltungen optimal zu dimensionieren. Die Schaltverluste werden durch C_{oss} beeinflusst, während C_{rss} die Schaltgeschwindigkeit mitbestimmt. Ein Vergleich der real gemessenen Werte mit dem Datenblatt des Originalherstellers kann helfen, im Wareneingang oder bei der Qualitätssicherung Fälschungen oder Abweichungen in der Produktqualität aufzudecken.

Die Gatecharge-Messung (Q_g, Bild 2) ist das Produkt eines (konstant gehaltenen) Gatestromes und der Zeit. Der zeitliche Verlauf von V_{gs} wird ebenfalls gemessen. Im ersten Segment der dargestellten Kurve erkennt man, wie V_{gs} durch die Aufladung von C_{iss_off} im Off-Zustand des Transistors durch den Konstantstrom ansteigt. Im zweiten Segment erreicht V_{gs} die Threshold-Spannung und der Transistor schaltet von „Off" nach „On". Die Steigung ist flach, weil der Gatestrom die Reverse-Transfer-Kapazität C_{rss} lädt. Im dritten Segment ist der Transistor vollständig durchgeschaltet und C_{iss_on} wird geladen. Die aus der Gatecharge-Kurve ablesbaren Parameter ermöglichen es Schaltungsentwicklern, optimal angepasste Treiberschaltungen zu entwerfen, insbesondere im Hinblick auf die sogenannten Driving-Losses.

Power

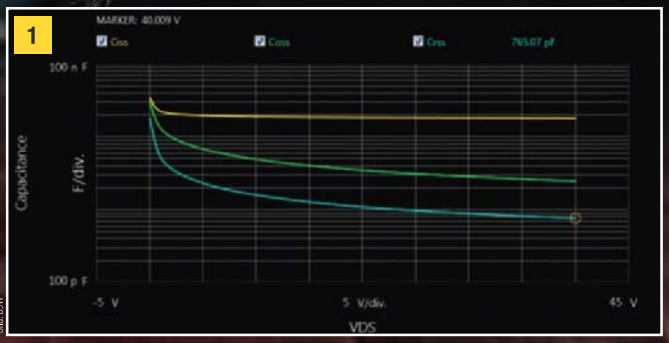

Bild: B&W

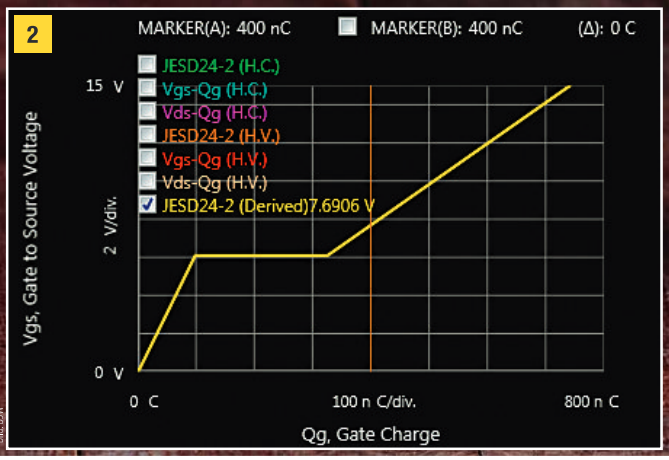

Bild: B&W

Bild: Keysight

Bild 1: Kapazitäts-Spannungs-Kurvenfamilie (Ciss, Coss und Crss) eines Power-MOSFET, gemessen mit einem Power-Device-Analyzer B1506A.

Bild 2: Gatecharge-Kurve eines Power-MOSFET, gemessen mit dem Power-Device-Analyzer B1506A.

Bild 3: Der Power-Device-Analyzer B1506A von Keysight misst Spannungen, Ströme, Durchlasswiderstände, Leckströme und Temperaturen und berechnet Kapazität und Gateladungen in einem einzigen Durchgang.

Bild: BSW

Bild 4: BSW hat einen Standard-Power-Analyzer mit einer erweiterten Arbeitsfläche als Testsystem ausgestattet.

Der Einsatz erneuerbarer Energien sowie der Auftrag, Energie immer effizienter und intelligenter zu verteilen und umzuwandeln, erhöhen die Anforderungen an die Leistungselektronik. Als Reaktion greift die Industrie auf moderne Halbleitertransistoren zurück. Überwiegend kommen hier MOSFETs (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren) oder IGBTs (Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode) zum Einsatz. Silizium ist nach wie vor der am weitesten verbreitete Halbleiter; für spezielle Anwendungen kommen mit Galliumnitrid (GaN) oder Siliziumkarbid (SiC) aber auch vermehrt Wide-Bandgap-Materialien zum Einsatz.

Neue Messtechnik

Sowohl die Hersteller von Halbleitern als auch deren Anwender entwickeln ihre Technologien intensiv weiter. Die Hersteller arbeiten an Materialien und Strukturen mit verbesserten Eigenschaften, aus denen die Anwender Schaltungen mit mehr Funktionen bei gleichzeitig sinkendem Strom- und Platzverbrauch zu immer geringeren Kosten ableiten. Um dies zu bewältigen, benötigen alle Beteiligten spezielle Messgeräte. Das traditionelle Handwerkszeug wie Oszilloskop, Netzteil, Multimeter oder auch der gute alte Curve-Tracer sind zu ungenau, zu umständlich in der Bedienung und zu unflexibel. Gewünscht ist ein Charakterisierungswerkzeug, mit dem sich auf einfache Weise alle Standard-Strom-Spannungscharakteristika vermessen lassen:

- Leckströme mit möglichst hoher Präzision
- Durchbruchsspannungen bis in den Bereich von 10 kV
- Threshold-Spannung
- Ausgangskennlinienfeld
- Direkte Messung der Transferkennlinie

Zu der eben genannten Pflicht kommt dann noch die Messung der Abhängigkeit der Bauteilkapazitäten über der Spannung als Kür (siehe Infokasten und Bild 1). Das Ganze bei möglichst hohen DC-Vorspannungen im Bereich von mehreren Kilovolt.

Wertvolle Hinweise auf das Schaltverhalten erhalten Anwender durch die Analyse der Gatecharge-Kurve (siehe Infokasten und Bild 2). Hierzu messen sie den zeitlichen Verlauf des Gatestroms und der Gatespannung bei konstantem Drainstrom und setzen ihn in ein Diagramm um, das die Abhängigkeit der Gateladung über der Gatespannung zeigt. Zusammen mit den präzise gemessenen Kapazitäten und Werten aus dem Ausgangskennlinienfeld lassen sich hieraus Schaltzeiten sowie Verluste berechnen.

Tiefe Einblicke

Für Entwickler von GaN-Bauelementen sind Methoden interessant, die Einblicke in das Current-Collapse-Phänomen bieten. Hierunter versteht man, dass bei Transistoren auf Basis von GaN der Drainstrom bei höheren Spannungen geringer ist als bei kleineren Spannungen. Auslöser dafür sind sogenannte Traps mit unterschiedlichen Zeitkonstanten, die unter anderem dafür sorgen, dass der Wert von $R_{ds(on)}$ unmittelbar nach dem Umschalten größer ist und sich erst mit zeitlicher Verzögerung verkleinert. Hieraus ergeben sich bauartbedingte Verluste.

Momentan herrscht ein starker Wettbewerb mit intensiver Forschung, um diesen Effekt zu kontrollieren und so die sonstigen Vorteile des Materials voll nutzen zu können. Zur Charakterisierung dieses Effekts bietet sich entweder ein moderner Power-Device-Analysator an (Bild 3), der Quellen dynamisch vom Bauteilestress in V_d/I_d-Abhängigkeitsmessung umschaltet. Eine andere Möglichkeit zur Analyse dieses Effektes ist ein spezialisiertes Pulsed-IV-System (Bild 5), das das Bauelement mit sehr kurzen Pulsen anregt.

Wünschenswert ist auch, die Bauelemente für die Messungen zu temperieren. In der Praxis bieten sich für gepackte Bauelemente Heizplatten (nur oberhalb der Raumtemperatur) an oder sogenannte Thermostreams für positive und negative Temperaturen.

Know-how nötig

Charakterisierungen auf Waferebene sind auch bei Leistungshalbleitern möglich, aber unter anderem durch den enormen

Bild 5: Das Pulsed-IV-System von Amcad regt Bauteile mit sehr kurzen Impulsen an, um den Current-Collapse-Effekt zu charakterisieren.

Einfluss des Kontaktwiderstandes eine große Herausforderung. Helfen kann hier ein versierter Partner, der zum Beispiel durch Schulung oder Consulting den Einstieg in dieses Thema erleichtert. Die BSW Testsystems & Consulting verfügt über umfangreiche Erfahrung in diesem Bereich und liefert auch Komplettsysteme als Turn-Key-Solution.

Schaltungsentwickler haben sich bei der Konzeption und Simulation ihrer Schaltungen lange Zeit auf Datenblatt- oder Bibliothekswerte verlassen. Dies geht solange gut, wie man die Schaltungen mit großen Sicherheitsreserven gegen Bauteiletoleranzen dimensionieren kann. Mit dieser Strategie lassen sich Effizienzsteigerungen aber nur kostspielig und zeitaufwendig durch ein Trial-and-Error-Vorgehen im Prototypenbau erzielen. Als prägnantes Beispiel sei hier auf die Kapazitäts-Spannungs-Parameter und die Gatecharge-Kurve verwiesen. Der Einfluss dieser Kenngrößen auf Schaltverluste und andere Eigenschaften ist groß. Als Datenblattwert führen sie aber oft ein Schattendasein.

Die realen Werte kennen

Durch den zunehmenden Kostendruck wollen Einkäufer flexibel auf unterschiedliche Lieferquellen zugreifen. Die Erfahrung zeigt, dass es hier immer wichtiger wird, die Spreu schnell vom Weizen zu trennen. Ein nach den Vorgaben des Originaldatenblatts konkret nachgemessenes Bauteil zeigt sofort, ob eine suboptimale Qualität oder gar eine Fälschung vorliegt, und bewahrt vor kostspieligen Überraschungen in der Produktion. Plumpe Fälschungen verraten sich oft schon im Ausgangskennlinienfeld oder der Durchbruchscharakteristik. Eine Detailanalyse der Kapazitätscharakteristika sowie der Gatecharge-Kennlinie deckt auch subtilere Mängel auf. Die Charakterisierung der realen Bauteileparameter zusätzlich über der Temperatur mittels Heizplatte oder Thermostream erlaubt Einblicke in das zu erwartende Verhalten der Schaltung und gibt wertvolle Hinweise auf Einsparpotenziale zum Beispiel bei der Kühlung.

Ein flexibler Power-Device-Analyzer sollte sich am besten über die vom Hersteller zur Verfügung gestellte Grundausstattung noch erweitern lassen, um sich nicht bei zukünftigen Entwicklungen unvermittelt in einer Sackgasse wiederzufinden. Dazu zählen unter anderem Messaufbauerweiterungen durch ein UHV-Bias-Tee der BSW, das aktuell die CV-Charakterisierung bis 10 kV ermöglicht, oder die Integration mit einer erweiterten Arbeitsfläche, um auch sehr voluminöse Prüflinge sicher testen zu können (siehe Bild 4).

Strom sparen

Die Entwicklung und der effektive Einsatz von Leistungshalbleitern sind ein spannendes und sehr dynamisches Umfeld. Moderne Messgeräte wie die Power-Device-Analysatoren helfen Entwicklern, dem Ziel einer umfassenden grünen Energie näher zu kommen. *(lei)* ■

Autor
Norbert Bauer
Applikations- und Vertriebsingenieur bei BSW in Sindelfingen.

all-electronics.de
infoDIREKT 703ejl0615

RIGOL
Beyond Measure

Typisch RIGOL:
Komplette Oszilloskop-Linie (DS/MSO) zu bezahlbaren Preisen!

• Serielles Bus Decoding • 30.000 bis 180.000 wfms/s Waveform Capture Rate • Record & Replay • Analysis ...

DS/MSO1000Z (-S)
Speicheroszilloskope
Best-Preis: ab € 339,- plus MwSt.
• 50/70/100MHz, 12Mpts (24Mpts) Speicher
• 4 analog Kanäle, 1GS/sec
• Als MSO: 16 dig. Kanäle, 1GS/ch, 12Mpts Speicher

DS/MSO2000A (-S)
Speicheroszilloskope
Best-Preis: ab € 749,- plus MwSt.
• 70/100/200/300MHz, 28Mpts (56Mpts) Speicher
• 2 analog Kanäle, 2 GS/sec
• Als MSO: 16 dig. Kanäle , 1GS/ch, 14Mpts Speicher

DS/MSO4000
Speicheroszilloskope
Best-Preis: ab € 1.795,- plus MwSt.
• 100/200/350/500MHz, 140Mpts Speicher
• 2 oder 4 analog Kanäle, 4GS/sec
• Als MSO: 16 dig. Kanäle ,1GS/ch, 28Mpts Speicher

DS6000
Speicheroszilloskope
Best-Preis: ab € 4.795,- plus MwSt.
• 600MHz/1GHz, 140Mpts Speicher
• 2 oder 4 analog Kanäle, 5GS/sec

Alle Optionen zum Preis von Einer:
• BND-MSO/DS2000A komplett **ab € 239,00** plus MwSt.
• BND-MSO/DS4000 komplett **ab € 549,00** plus MwSt.
Weitere Details unter www.rigol.eu

RIGOL Technologies EU GmbH
Telefon +49 89 8941895-0
info-europe@rigol.com