

DESIGNKRITERIEN FÜR LEISTUNGSHALBLEITER

# MOSFETs für Direkteinspritzsysteme

In der Automobilindustrie besteht die Forderung, den Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge weiter zu senken. Die maximale Effizienz aus jedem Tropfen Kraftstoff herauszuholen, ist eine Aufgabe, der sich kein Fahrzeughersteller mehr entziehen kann. Eine Möglichkeit, die Kraftstoffeffizienz zu erhöhen, sind Verbesserungen bei den Einspritzsystemen. Der folgende Beitrag beschreibt, wie dieses Ziel in neuesten Fahrzeugmodellen realisiert wird und welche Elektronik dazu erforderlich ist.

Moderne Motoren weisen heute eine Direkteinspritzung auf. Dabei wird der Kraftstoff direkt in den Zylinder eingespritzt anstatt außerhalb vorgemischt. Diese Technik bietet große Vorteile, da eine genauere Steuerung der Kraftstoffmenge und des Zündzeitpunkts möglich ist, was die Motorleistung erhöht und den Kraftstoffverbrauch senkt. Eine Direkteinspritzung erfordert aber eine anspruchsvolle Steuerungselektronik und stellt hohe Anforderungen an die verwendeten Bauteile.

## Leistungs-MOSFETs in modernen Einspritzsystemen

Leistungs-MOSFETs werden bei der Kraftstoffzufuhr zum Ein- und Ausschalten der Einspritzdüse seitens der ECU verwendet. Pro Einspritzdüse kommt ein MOSFET zum Einsatz. Einige MOSFET-Parameter für die Direkteinspritzung sind deutlich höher als bei Standardeinspritzsystemen, denn Direkteinspritzsysteme erfordern einen höheren Anzugstrom, um die Funktion der Magnetspule bei hohem Zylinderdruck zu garantieren. Dieser hohe Strom muss wegen der kurzen Zeit, die zur Verfügung steht, um Kraftstoff in den Motorzyklus einzuspritzen, und der kleiner wird, sobald die Drehzahl steigt, schnell bereitgestellt werden. Damit ist auch eine Versorgung mit höherer Spannung erforderlich. Direkteinspritzsysteme können Ver-

sorgungsspannungen  $>100$  V erfordern (im Gegensatz zu etwa 50 V bei Standardeinspritzsystemen). Piezoelektrische Einspritzdüsen erfordern ebenfalls hohe Spannungen zur Aktivierung, meist 200 V oder mehr.

Höhere Ströme erfordern aber auch Bausteine mit einem niedrigeren Durchlasswiderstand  $R_{DS(on)}$ , um die Anforderungen hinsichtlich des Modul-Spannungsabfalls zu erfüllen und die Verlustleistung im Modul zu reduzieren. Neuere Systeme basieren auf der Trench-Technologie (im Gegensatz zur etablierten Planar-Prozesstechnologie), um die Gesamtsystemkosten zu verringern. Heutige Trench-Technologien können die aktive Siliziumfläche eines planaren ICs mit äquivalentem  $R_{DS(on)}$  um die Hälfte reduzieren.

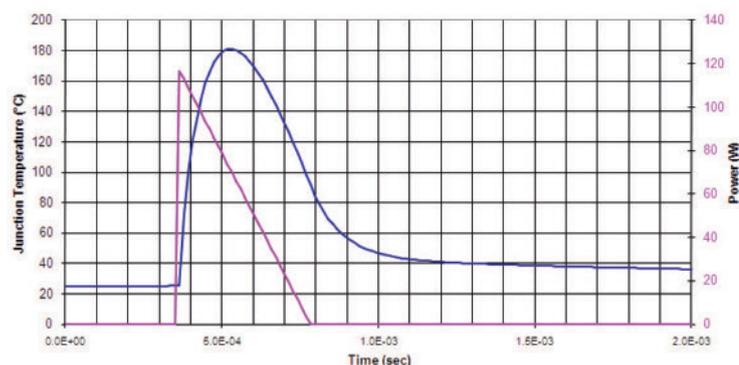


Bild 1: Anstieg der Sperrschichttemperatur bei gegebenem Strompuls (induktive Last).

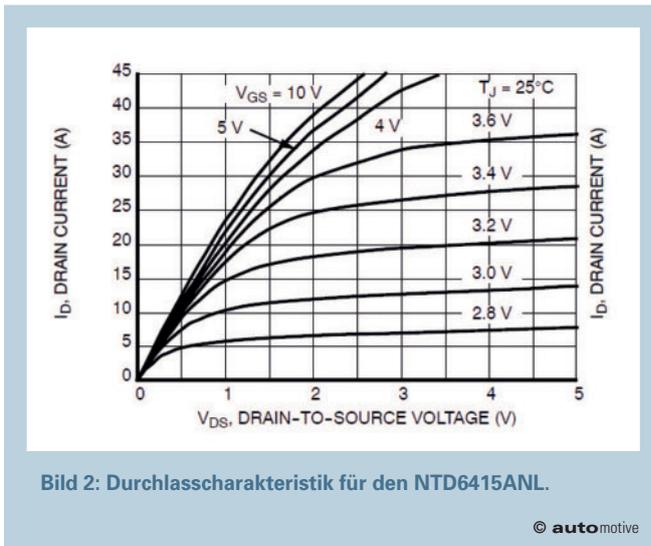


Bild 2: Durchlasscharakteristik für den NTD6415ANL.

© automotive

### Avalanche-Betrieb

Auch erfordern komplexere Algorithmen bei der Kraftstoffzufuhr hohe Schaltgeschwindigkeiten, denn der Kraftstoff wird in mehreren getrennten Schüben eingespritzt statt in einem einzigen Schub. Die Schwierigkeit bei diesen Mehrfacheinspritzsystemen ist, genügend Zeit zur Verfügung zu haben, um den Strom immer wieder aufs Neue hochzufahren. Wenn das Timing weniger entscheidend ist, kann der Schaltkreisentwickler die Spulenspannung über eine Diode an die Versorgungsspannung anklammern, womit der MOSFET nicht bei jedem Abschaltzyklus im Avalanche betrieben wird. Bei einer zunehmenden Zahl an Einspritzungen haben die Entwickler jedoch oft keine Wahl und müssen den MOSFET im Avalanche betreiben, was zu maximalen Spannungen über der Magnetspule führt. Dazu sind MOSFETs mit einer sogenannten UIS-Funktion (Unclamped Inductive Switching) erforderlich. Geht man davon aus, dass ein MOSFET während der Lebensdauer eines Fahrzeugs mehr als 1 Mrd. Einspritzzyklen durchläuft, ist der Betrieb des MOSFETs im Avalanche für Systementwickler von hoher Bedeutung. Allerdings ist diese Funktion von MOSFETs bei verschiedenen Anbietern am Markt noch nicht gut charakterisiert. Weitere Anstrengungen sind nun im Gange, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen – vor allem, wenn es um den Vergleich zwischen den neuen Trench- und den bestehenden Planar-Technologien geht. Die UIS-Funktion wird bei Trench-MOSFETs im Vergleich zu Planar-MOSFETs oft als schwächer ausgeprägt angesehen. Ein Grund dafür ist, dass ein Trench-Baustein mit äquivalentem  $R_{DS(on)}$  eine weniger große aktive Siliziumfläche aufweist als ein Planar-Baustein. Bei einem richtig konstruierten und gefertigten MOSFET ist die UIS-Fähigkeit eine Funktion der thermischen Leistungsfähigkeit, sodass ein Trench-Baustein immer eine niedrigere UIS-Fähigkeit aufweist als ein Planar-Baustein mit gleichem  $R_{DS(on)}$ . Bei einer Trench-Struktur ist zudem zu beachten, dass im Avalanche-Betrieb mit hohen Strömen eine Injektion hoch-

energetischer Ladungsträger in das Gate-Oxid erforderlich ist, was über mehrere Avalanche-Ereignisse hinweg zu veränderten DC-Parametern führen kann. Diese Parameterverschiebungen sind zwar nur minimal, aber das Verhalten der DC-Parameter muss besser spezifiziert sein, sobald Millionen bis Milliarden Avalanche-Ereignisse über Lebensdauer auftreten. Der n-Kanal Planar-Leistungs-MOSFET NTD6415ANL von ON Semiconductor ist AEC-Q101-qualifiziert und besitzt einen  $R_{DS(on)}$  von nur 52 mΩ bei 10 V, die max. Drain-Source-Sperrspannung beträgt 100 V, der Drain-Strom bei 25 °C bis zu 23 A. Er wird im DPAK-Gehäuse angeboten, und sein Betriebstemperaturbereich umfasst -55 °C bis +175 °C, womit sich die extreme Hitze, die in Direkt-einspritzsystemen auftreten kann, handhaben lässt. Der Wärmewiderstand (1,8 °C/W Sperrschicht-zu-Gehäuse) ermöglicht eine schnelle Wärmeableitung und schützt vor Fehlern. ON Semiconductor entwickelt derzeit auch Trench-basierte MOSFETs für diesen Anwendungsbereich. (oe)

Don Zarembo ist Applikationsingenieur bei On Semiconductor in Phoenix (AZ), USA.

 ON Semiconductor  
www.onsemi.com