Kisel eller kiselkarbid?

Välj din krafttransistor med omsorg

EXPERTARTIKEL

Av Hannah Metzner, Rutronik

Hannah Metzner har titeln Product Sales Manager Power på Rutronik sedan tre år. Hon har en magisterexamen i Industrial Engineering från Karlsruhe University of Applied Sciences, ett tyskt universitet för tillämpad vetenskap. På Rutronik hjälper hon kunderna att konstruera en optimal strömförsörjning.

Av René Mente, Infineon Technologies

René Mente har titeln Senior Staff Engineer PSS Division (Power and Sensor Systems). Han började på Infineon redan under studietiden som applikationsingenjör inom lågspända mosfet:ar. Efter examen, år 2010, skiftade han till högre spänningar för att 2017 ta steget till högeffektstillämpningar. Han har en magisterexamen från University of Applied Sciences i Villach, Österrike.

Mosfet:ar i kiselkarbid (SiC) kan vara betydligt effektivare än motsvarande mosfet:ar i kisel, ändå är det inte alltid lätt att avgöra när kiselkarbid är det bättre valet. Här tar vi upp kriterier som du behöver ta hänsyn till för att komma vidare.

Vid spänningar över 1 000 V har valet tidigare oftast fallit på IGBT:er. Men SiC erbjuder snabbt switchande unipolära komponenter som kan användas istället för bipolära IGBT:er. Det gör att tillämpningar som tidigare bara gått att realisera vid lägre spänningar (under 600 V) numera kan klara högre spänningar. Mosfetar i SiC har även upp till 80 procent lägre effektförluster jämfört med IGBT:er.

Infineon har optimerat egenskaperna hos SiC ytterligare med en teknik kallad CoolSiC Trench Technology. Trenchtekniken ger robusta mosfet:ar. Den gör att det blir lättare att nå extra höga tröskelspänningar (V_{th}) och låg Miller-kapacitans. Den gör också att transistorerna bättre tål oönskade parasitiska effekter vid tillslag än andra mosfet:ar i SiC.

Infineon lanserade sina först CoolSiC-transistorer på 1 200 V och 1 700 V, men har sedan utökat produktportföljen med mosfet:ar på 650 V. De sistnämnda kan användas i 230 V-nät. De ger hög verkningsgrad, är robusta och kostnadseffektiva sett på systemnivå – vilket gör dem lämpade att använda i tillämpningar som till exempel telekommunikation, servrar, laddstationer för elfordon och batteripaket.

Om valet står mellan beprövade mosfet:ar i kisel och nyare kiselkarbidbaserade mosfet:ar bör olika kriterier övervägas, enligt nedan.

Verkningsgrad och effekttäthet hos tillämpningen

Motståndet mellan drain och source R_{DSon} är mer stabilt över arbetstemperaturområdet hos kiselkarbid jämfört med kisel. Hos en SiC-baserad mosfet ändrar det sig bara med en faktor på cirka 1,13 i temperaturområdet mellan 25 °C och 100 °C medan det hos en typisk kiselmosfet, exempelvis Infineons CoolMOS C7, ändras med en faktor 1,67.

Det betyder att arbetstemperaturen påverkar effektförlusten hos SiC-transistorer i mindre utsträckning. SiC-baserade mosfet:ar är därmed som klippta och skurna för tillämpningar som har hög temperatur eller så kan de klara sig med enklare kyllösningar och ändå vara lika effektiva.

Drivkretsar

När du går från kisel till kiselkarbid dyker även frågan om lämplig drivkrets upp. Om den drivning som redan används levererar en gate-spänning på 15 V kan den vanligen användas även i fortsättningen. Å andra sidan ger en spänning på gaten om 18 V ett signifikant minskat R_{DSon} – upp till 18 procent vid 60 °C – så det kan vara värt att byta ut drivkretsen.

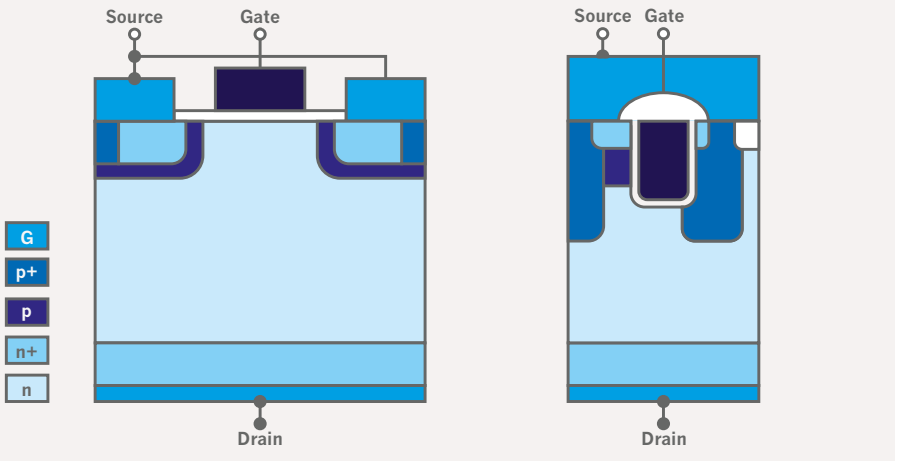
Helst ska man undvika att mata gaten hos en SiC-mosfet med negativa spänningar eftersom det kan leda till att dess tröskelspänning, $V_{GS(th)}$, driver vilket gör att R_{DSon} ökar med tiden.

Spänningsfallet över source-induktansen i gate-loopen ger hög strömderivata (di/dt), vilket kan göra att $V_{GS(off)}$ blir negativ. En ännu större utmaning utgör en mycket hög spänningsderivata (dv/dts) orsakad av kapacitansen över gate-drain hos den andra transistorn i halvbryggskonfigurationen. Det senare kan undvikas med ett lägre dv/dt, men på bekostnad av minskad verkningsgrad.

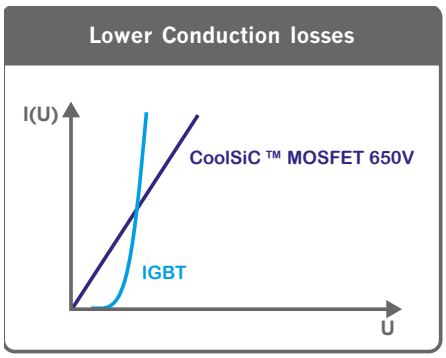
Det bästa sättet att begränsa den negativa spänningen på gaten är att använda en separat effekt- och drivkrets med hjälp av Kelvin-kontakt och att integrera en diod (clamping diode). Genom att placera en diod mellan gate och source kan den negativa spänningen på gaten begränsas.

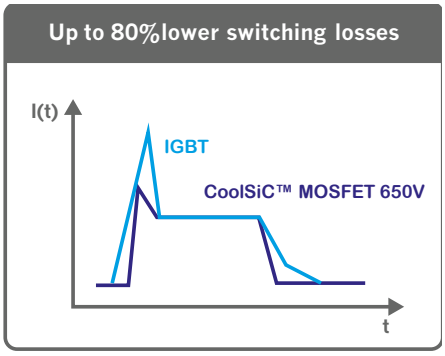
Laddningen i backriktningen

I resonanstopologier eller konstruktioner som använder hård kommutering av body-dioden är det speciellt viktigt att ta hänsyn



Skissen jämför en klassisk mosfet med planarteknik (t.v.) och en CoolSiC med trenchteknik (t.h.).





Mosfet:ar i kiselkarbid har mindre ledningsförluster och upp till 80 procent lägre switchförluster jämfört med en IGBT. Detta exempel visar Infineons mosfet 650V CoolSiC.

till laddningen i backriktningen (Q_{rr}). Q_{rr} är den laddning som måste bort när transistorn upphör att leda.

Många komponenttillverkare har lagt ner stor möda på att minska Q_{rr} i sina konstruktioner. Infineons transistorfamilj kallad ”Fast diod CoolMOS” är ett lyckat exempel med tio gånger lägre Q_{rr} jämfört med sina föregångare i kisel. Samtidigt har Infineon kommit ännu längre med sin CoolSiC-familj – där har transistorer tio gånger bättre Q_{rr} jämfört med de allra senaste CoolMOS-kretsarna.

CoolSiC-tekniken gör att det går att utveckla system med färre komponenter och enklare kylning vilket i sin tur gör dem enklare, mindre och billigare. Tack vare trenchtekniken har komponenterna dessutom de allra lägsta förlusterna och den högsta driftsäkerheten.

Effektfaktorkorrigering

För närvarande fokuserar industrin på att öka systemeffektiviteten. För att nå minst 98 procents systemeffektivitet måste effektfaktorkorrigeringen (PFC, Power Factor Correction) förbättras.

Här kommer SiC-baserade mosfet:ar med förbättrat Q_{rr} till hjälp. Tack vare dessa blir det möjligt att använda hårda switchtopologier för effektfaktorkorrigeringen. Infineon har tidigare rekommenderat en metod kallad triangulärt strömläge (TCM) för sina CoolMOS, men med SiC kan istället en kontinuerligt ledande så kallad Totem Pole PFC implementeras.

Kapacitansen på utgången

I en hårt switchad topologi måste energin som byggs upp i kapacitansen på utgången, kallad E_{OSS}, bort när transistorn börjar leda. Eftersom CoolSiC-transistorer har högre kapacitans på utgången än jämförbara CoolMOS lagrar de mer energi.

En lägre kapacitans tillåter högre switchfrekvens, men skapar samtidigt en översläng när transistorn börjar leda. Hos en kiselbaserad mosfet kan detta kompenseras för med ett externt motstånd på gaten som bromsar switchhastigheten. På så sätt går det att nå kravet på 80 procent de-rating (säkerhetsmarginal) över drain-source. Nackdelen med denna lösning är att ett motstånd bidrar till switchförluster.

SiC-baserade mosfet:ar har högre kapacitans på utgången än kiselbaserade krafthalvledare vid en drain-source-spänning på 50V. Trots det är förhållandet mellan C_{OSS} och V_{DS} (C_{OSS}/V_{DS}) betydligt mer linjärt. Det betyder att SiC-transistorer kan användas tillsammans med en lägre resistans utan att överskrida den maximala drain-source-spänningen. Det kan vara fördelaktigt i vissa topologier, som till exempel i en DC/DC-omvandlare baserad på LLC-resonans.

Slutsats

Även om kiselkarbidteknik har många fördelar betyder det inte att mosfet:ar i kisel kommer att fasas ut så lätt. Det beror delvis på den betydligt högre framspänningen hos body-dioden – att enbart byta ut en kiseltransistor mot en i kiselkarbid skulle innebära fyra gånger högre ledningsförluster i body-dioden, vilket gör att det inte går att nå den högsta tänkbara verkningsgraden.

För att faktiskt kunna dra nytta av den högre verkningsgraden hos kiselkarbid är det viktigt att konstruktionen kan utnyttja kanalen maximalt. Boost-funktionen för PFC måste användas över mosfet-kanalen och inte i omvänd riktning över body-dioden. Likaså måste dödtider optimeras för att det ska gå att dra nytta av SiC-baserade mosfet:ar fullt ut. ■