



Skapa effektivare frekvensomriktare med kiselkarbid

Utvärdering visar på 60 procent lägre förlust

Energimyndigheten beräknar att elmotordrivna system står för runt 65 procent av elanvändningen inom industrin och nästan 40 procent av Sveriges totala elanvändning. Därför är produktgruppen utpekad av EU som den grupp där man kan åstadkomma störst energibesparing. Sedan juni 2011 omfattas den också av ekodesignkrav. I vissa fall då motorer utsätts för en varierande last kan mycket energi sparas om en frekvensomriktare används.

Ny teknik medför risker, men också möjligheter. I ett projekt finansierat av Vinnova och Energimyndigheten har Elektronikonsult och Utvärderat kiselkarbid (SiC) och dess energibesparingspotential i motorslutsteget till en frekvensomriktare. Initiala beräkningar visade att stora effektförlustbesparingar skulle kunna uppnås. Projektets mål var sålunda att klarlägga den faktiska besparingen och hur detta påverkade faktorer som EMC och tillförlitlighet.

ETT MODERNT DRIVSYSTEM för industriell bruk i effektklassen 2–10kW byggs idag ofta kring en trefasmaskin matad från en spänningsstyv omriktare. Vanligen matas växelriktaren via diodlikriktare eller aktiv likriktare direkt från trefas industrispänning med upp till 480V. Av kostnads- och utrymmesskäl används vanligen tvånivå-omriktare varför man tidigare ofta varit hänvisad till att använda IGBT:er (Insulated Gate Bipolar Transistor) med en spärrensättning på 1200V då mellanledningsspänningen i dessa tillämpningar ligger kring 560–700V.

När bipolära komponenter i kisel (Si) byts ut mot fälteffekttransistorer i kiselkarbid erhålls avsevärt bättre statisk och dynamisk prestanda. Fälteffekttransistorn är ett steg närmare ett idealt kopplingselement. Gatedrivningen, kapslingen av halvledarna och huvudkretsens konstruktion blir avgörande för till- och frånslagskaraktäristiken. Utformningen av gatedrivningen ger halvledaren den till- och frånslagskaraktäristik som är lämplig för applikationen. Med ett intelligent drivdon kan man styra omslaget för att minimera omslagsförlusterna givet de restriktioner som ges av kablage- och motorkonstruktion. MOSFET-transistorerna förmåga att leda i bakriktning och kortsluta den antiparallela dioden ger en avsevärd prestandahöjning vid drifter som går regenerativt eller med låg effektfaktor. Fälteffekttransistorn sak-

Av Vidar Wernöe och Tommy Kjellqvist, Elektronikonsult



Vidar Wernöe är sedan år 2000 vd på Elektronikonsult, ett Stockholmsbaserat konsultföretag som konstruerar kraftelektronik, strömförsörjning och motorstyrning åt huvudsakligen nordiska bolag. Han är även ledamot i forskningscentrumet SiC Power Center, som bedrivs i samverkan mellan Acreo, Swerea Kimab och KTH.

Tommy Kjellqvist har doktorerat i kraftelektronik vid KTH och publicerat flera artiklar i ämnet. Han arbetar hos Elektronikonsult sedan 2010 och är ansvarig för företagets utvärdering av kiselkarbid.

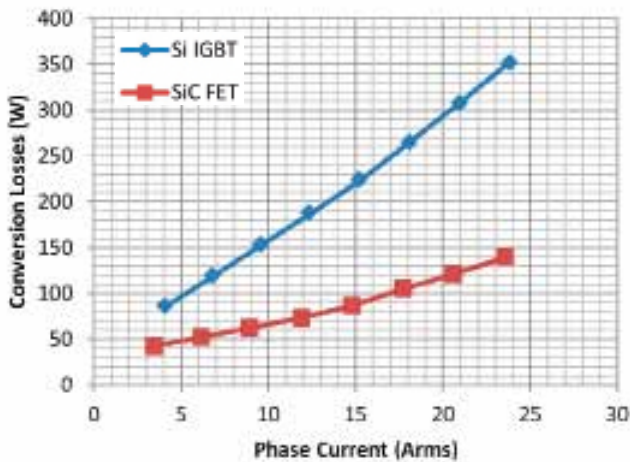
täristiken. Utformningen av gatedrivningen ger halvledaren den till- och frånslagskaraktäristik som är lämplig för applikationen. Med ett intelligent drivdon kan man styra omslaget för att minimera omslagsförlusterna givet de restriktioner som ges av kablage- och motorkonstruktion. MOSFET-transistorerna förmåga att leda i bakriktning och kortsluta den antiparallela dioden ger en avsevärd prestandahöjning vid drifter som går regenerativt eller med låg effektfaktor. Fälteffekttransistorn sak-

nar det knä i framspänningsfallet som är karaktäristiskt för IGBT:n. Därför kan verkningsgraden hållas hög över ett bredare arbetsområde om SiC-MOSFET används istället för Si-IGBT.

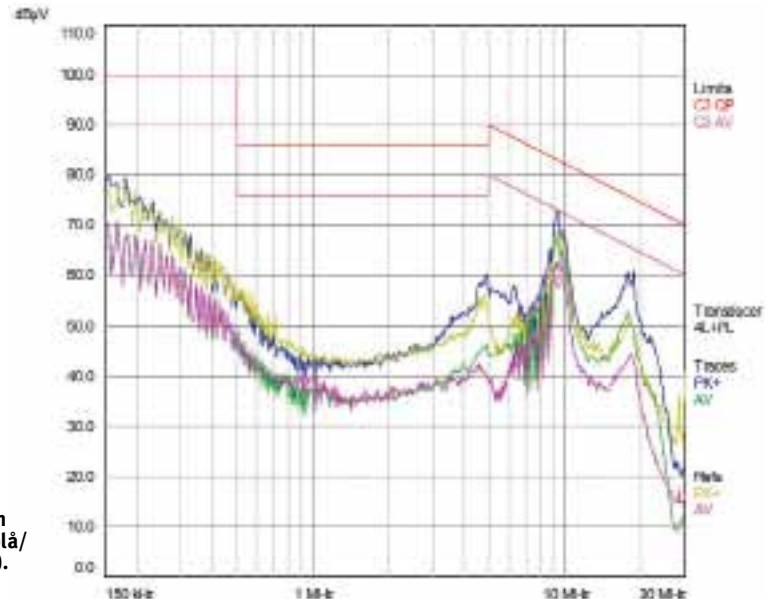
I ETT DRIVSYSTEM för industriella skruvdragare från Atlas Copco har vi ersatt transistorerna (IGBT:er) i växelriktaren med MOSFET-transistorer i kiselkarbid. I samband med det har styrelektroniken modifierats för att passa kiselkarbidtransistorerna. Lasten är intermitterent och det går inte att bestämma en specifik arbetspunkt där optimering bör ske. Istället måste optimering göras för en given lastprofil. Kiselkarbid ger möjligheten att höja verkningsgraden över hela spannet – inte bara i en arbetspunkt. Mekaniken är inte dimensionerad för kontinuerlig drift utan måste svalna mellan cyklerna. Förlusterna i växelriktaren är därför avgörande för cykeltakten och produktiviteten.

Gateoxidskiktet i SiC-MOSFET:en är kritiskt för komponentens tillförlitlighet. Speciellt felfall såsom kortslutning måste beaktas vid konstruktionsarbetet. Tillförlitlighetsdata från accelererad provning finns tillgänglig från komponentleverantörerna och visar att normala tillförlitlighetskrav kan mötas under rätt förutsättningar, men erfarenheten från fält är begränsad då komponenterna är nya. Ur tillförlitlighets synpunkt kan därför SiC-JFET vara att föredra. SiC-MOSFET:ar tål kortslutning i storleksordningen tio mikrosekunder, medan SiC-JFET:ar kan klara kortslutning i över en millisekund. Det är avsaknaden av gateoxidskikt som gör JFET-transistorn till en tåligare komponent.

EN POSITIV ASPEKT med komponenter i kiselkarbid är dess tålighet mot kosmisk strålning. När Si-IGBT används måste mellanledningsspänningen normalt begränsas till



Figur 1. Omvandlarförluster som funktion av fasström.



Figur 2. Ledningsbunden emission. Kiselkarbid (blå/grön) och kisel (gul/lila).

cirka halva komponentens spänningsfall för att nå önskad tillförlitlighet. För SiC-MOSFET krävs ingen sådan reducering av mellanledningsspänningen, utan komponenten kan tillåtas arbeta närmare sin märkspänning.

Vi har valt att använda en MOSFET i kiselkarbid. Fördelen med SiC-MOSFET jämfört med andra kommersiellt tillgängliga komponenter är att den är spänningsstyrd och spärrar utan pålagd spänning. Det innebär att den har en karaktäristik som liknar Si-IGBT:n som den ersätter, varvid modifieringarna av styrelektroniken kan hållas så lita som möjligt. SiC-JFET är en attraktiv komponent då den i grunden är mer tillförlitlig och tålig, men den kräver en modifierad huvudkrets. En sådan lösning är att använda en SiC-JFET tillsammans med en lågspänd Si-MOSFET i en kaskadkonfiguration. Vi har valt att integrera motorslutsteg tillsammans med likriktare och broms i en modul. Att ta fram motsvarande modul med SiC-JFET i kombination med Si-MOSFET skulle kräva en större kåpa, vilket skulle vara svårt i tillämpningen.

RESULTATEN FRÅN våra effektförlustmätningar framgår av figur 1. Verkningsgradsökningen är påtaglig. Förlusterna minskar från 350W till 140W vid 24Arms, det vill säga med 60 procent vilket är i linje med andra studier.

Dagens konstruktion är optimerad för storlek och tillgänglig kylning bestäms av mekaniken. Maximal tillåten temperatur på kylaren bestäms av gällande normer (för att undvika brännskador). I våra tester har vi kunnat minska temperaturen på kylaren med 10°C. Att minska temperaturen på mekaniken är värdefullt då det innebär en ökad livslängd hos resten av elektroniken. En vedertagen regel är att elektrolytkondensatorers livslängd dubblas när temperaturen sänks med 7–10°C. Med transistorer i

kiselkarbid kan vi dubbla produktiviteten för samma mekanik samt även öka produktens förväntade livslängd.

KOMPONENTER I KISELKARBID är fortfarande dyra jämfört med kiselkomponenter med motsvarande märkström, men priset på systemnivå behöver inte nödvändigtvis bli högre. För att nå motsvarande prestanda med kisel krävs ofta mjukt kommuterade topologier eller flernivåtopologier i kombination med stor kiselarea i varje position. I båda fallen växer antalet komponenter och prisskillnaden minskar. Vi har jämfört en lösning med tvånivåomriktare i kiselkarbid med en trenivåomriktare med Si-MOSFET:ar och kommit fram till att priset i dagsläget är ungefär detsamma för de två lösningarna. Priset på komponenter i kiselkarbid kan förväntas sjunka när nya generationer av komponenter kommer ut på marknaden, medan kostnaden för flernivåtopologier och resonanta omvandlare kan förväntas vara fortsatt hög. Trots att flernivåtopologier har stora systemfördelar, som bland annat lägre tillsatsförluster i elmotorn samt reducerad stress av isolationsmaterial, blir tvånivålösningen ofta det enda möjliga valet på grund av de storlekskrav som finns.

Komponenter i kiselkarbid möjliggör mycket snabba omslag som i princip endast begränsas av parasitkomponenter i huvudkretsen och i kåpan. Ett snabbare omslag innebär att switchfrekvensen kan höjas utan ökade förluster. Att öka switchfrekvens i motorslutsteget kan vara ett bra sätt att minska rippelströmmarna i maskinen och därmed sänka tillsatsförlusterna. I praktiken måste hänsyn tas till utstrålad och ledningsbunden emission samt spänningståligheten hos isoleringsmaterial i motorn. Allt för snabba transienter kan i kombination med långa kablar orsaka spänningstransienter som riskerar att slå

sönder motorisoleringen. Ett alternativ är att införa motorfilter. Genom att integrera motorfiltret i frekvensomriktaren kan rippelströmmen minskas, vilket innebär lägre förluster i motorn. Genom att returnera störströmmarna lokalt kan omslagstiden göras kortare och kommuteringsförlusterna sänkas. Även om switchfrekvensen kan höjas så att filtret kan göras litet innebär det att drivsystemet måste göras större, vilket inte var en framkomlig väg i detta projekt.

EN FARHÅGA med att byta till snabbare halvledare är att störningar ska leda till ett behov av ökad filtrering. Genom att switchfrekvensen hålls låg behövs inte några extrema omslagstider. De ledningsbundna störningarna är av samma storleksordning för båda teknikerna och under gränsvärdena, se figur 2. Vi har valt att behålla en lösning utan motorfilter. Det innebär att vi har varit tvungna att kommutera växelriktaren relativt långsamt.

Tillförlitlighetsaspekten hos kiselkarbid har varit omdebatterad under de senaste åren. Gateoxidskiktet har historiskt varit en svag punkt men med nya generationer har detta förbättrats. Kortslutningstålighet är fortfarande en utmaning och föremål för forskning. Då komponenterna är nya finns begränsad erfarenhet från fält. För att utvärdera livslängden har vi genomfört livslängdprov genom att köra drivsystemet i en miljon cykler utan haverier eller försämrade prestanda.

SAMMANFATTNINGSVIS kan vi konstatera att kraftelektronik i kiselkarbid överträffat våra högt ställda förväntningar på effektsparningar i drivsystemet. Med ökade krav på energieffektivitet är det dags för svensk industri att ta till sig tekniken och skapa världsledande och högeffektiva produkter med kiselkarbid. ■