



# Lärdomar av GaN

En strömförsörjningsenhet med höga spänningar, och på mer än cirka 150W, är det vanligt att använda en resonant LLC-topologi i DC-DC-steg på grund av dess höga effektivitet. Hittills har kiseltransistorer varit vanligast men att ersätta dessa med motsvarande komponenter i galliumnitrid (GaN) på primärsidan ger betydande besparingar i storlek och vikt samtidigt som en hög effektivitet bibehålls.

Switchfrekvensen för MOSFET:ar i kisel i konventionella LLC dc-dc-steg har ett praktiskt tak på cirka 100kHz eftersom switchförlusterna över det blir för stora. GaN-komponenter å andra sidan kan enkelt switchas vid frekvenser över 250 kHz med bibehållen effektivitet vilket gör det möjligt att använda mindre och lättare magneter plus att effektiviteten ökar.

De praktiska konsekvenserna av att designa en DC-DC-omvandlare på 500W med LLC-topologi och GaN-komponenter har dock inte dokumenterats särskilt väl. Nu har Future Electronics Center of Excellence (CoE) utvecklat GaNStar, en GaN-baserad design med 400V DC på ingången och 48V på utgången. Vid designen av kortet undersöktes de viktigaste frågorna som uppstår när man använder GaN-komponenter.

Egenskaperna hos GaN-komponenter som ST Microelectronics MasterGaN1, en halvbygga med två GaN-transistorer och tillhörande drivare i samma kapsel, är välkända. CoE-teamets arbete gav dock intressanta aspekter. Som beskrivs nedan visade sig temperaturen på transformatorn vara huvudbegränsningen för kortets funktion.

Genom att uppnå en konverteringseffektivitet på 96 procent, och inte använda mer än en liten fläkt för kylning vid en uteffekt på 500W, visar GaNStar-kortet att en GaN-baserad LLC-omvandlare kan vara cirka 30 procent mindre än motsvarande design med MOSFET:ar i kisel.

GaNStar-kortet använder den välkända och resonanta LLC-topologin. På primärsidan är halvbyggan implementerad med en enda komponent, 600V MasterGaN1. För de flesta kraftsystemkonstruktörer är en enhet som MasterGaN1, som integrerar optimerade gate-drivare för GaN-transistorerna, att föredra framför en lösning med diskreta komponenter. Det beror på att GaN-switchar är svårare att driva än MOSFET-switchar. Vid drivning av GaN-switchar bör kretsens parasitära egenskaper minimeras. Dessutom kan gaten i de flesta fall skadas om spänningen över gate-source överstiger 8V.

## Av David Woodcock, Future Electronics

**David Woodcock**

har arbetat på Future Electronics i 15 år med design i kund- och leverantörsprojekt. Fokus har legat på inbyggda system och kraft.



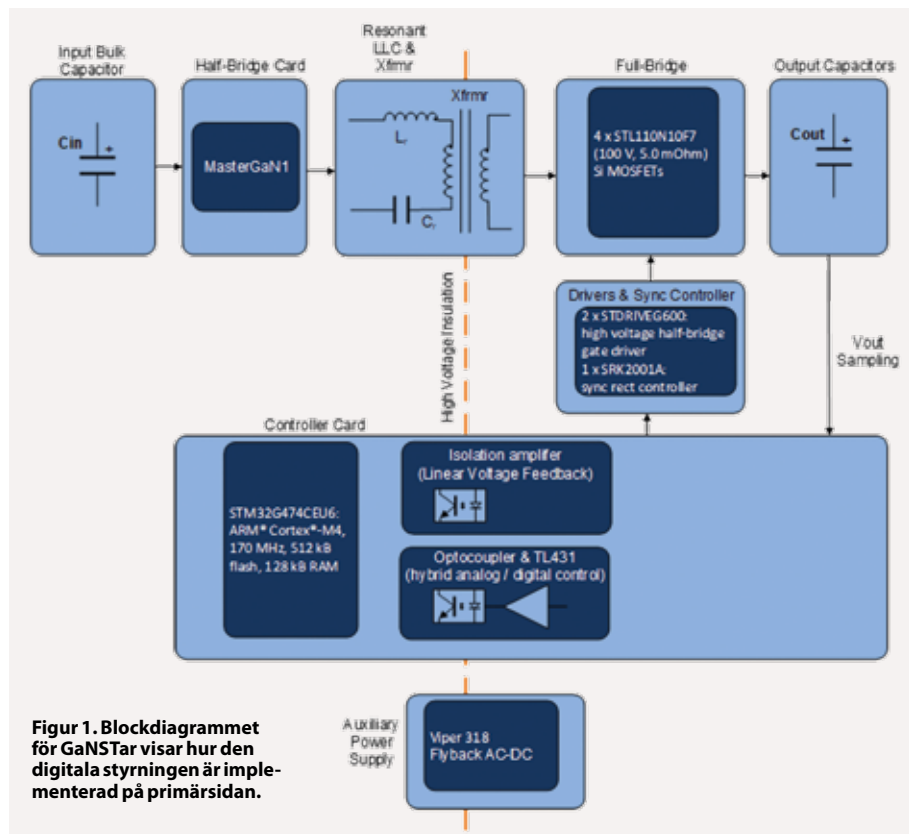
På sekundärsidan har GaNStar valt en halvbygga med fyra stycken kisel-MOSFET:ar på 100V, även de från ST Microelectronics. Sekundärsidan hade kunnat konfigureras som en halvbygga, men då hade man behövt använda MOSFET:ar med en högre märkspänning, minst 150V för att klara en utspänning på 48V. Med halvbygga kan man använda 100V MOSFET:ar som är billigare och mer lättillgängliga än de med högre märkspänning. Valet ger också möjlighet att ersätta kisel-MOSFET med 100V GaN-transistorer när tillgången på marknaden ökar, för att öka effektiviteten ytterligare. Den gatedrivare som valts för GaNStars sekundära sida, STDRIVEG600 från ST Microelectronics, är kompatibel med både MOSFET:ar i kisel och GaN-FET:ar.

**DET VIKTIGASTE BESLUTET** kring arkitekturen gällde styrningen: ska den vara digital och programmerbar med hjälp av en mikrokontroller, eller analog med en enkel LLC-kontroller?

Olika faktorer påverkar valet. Ett programmerbart och digitalt system kan stödja flera designiterationer vilket kan vara användbart när man utvecklar en familj av nätaggregat. Å andra sidan eliminerar en enkel LLC-omvandlare behovet av mjukvaruutveckling och minskar utvecklingstiden, liksom kostnaden.

Fram tills helt nyligen har det inte funnits några LLC-kretsar för frekvenser över 100 kHz med full last. År 2022 kom de första. Framförallt släppte NXP kretsen TEA2017 som är en kombinerad PFC-styrenhet och resonant LLC-styrenhet med stöd för switchfrekvenser långt över 250 kHz och som fungerar i kontinuerligt ledande läge (CCM) såväl som i gränsledningsläge (BCM) eller diskontinuerligt ledningsläge (DCM) för PFC-driften.

Andra attraktiva alternativ inkluderar styrenheten NCP13994 LLC från Onsemi. För ett AC-DC-aggregat kan NCP13994 kombineras med NCP1680, en PFC-styrenhet för topologier av typen totempåle.



Figur 1. Blockdiagrammet för GaNStar visar hur den digitala styrningen är implementerad på primärsidan.

# i ett kraftaggregat

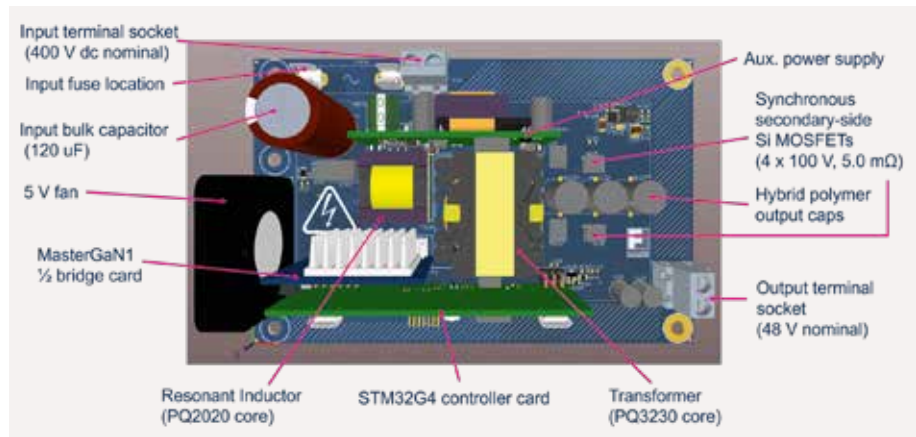
Precis som NXP erbjuder ST Microelectronics en kombinerad PFC- och LLC-kontroller, STCMB1. PFC-styrenheten stöder dock BCM och DCM, men inte CCM, så den är endast lämplig för belastningar upp till cirka 250W.

**ISTÄLLET FÖR DESSA** standardalternativ valde designteamet ett flexibelt och digitalt alternativ med en styrkrets från ST Microelectronics i form av STM32G4x4. Den är särskilt lämplig på grund av dess högupplösta timer, att den kan skapa komplexa vågformer och har en händelsehanterare för digital kraftomvandling.

STM32G4x4 har en kapacitet för mycket mer än enbart LLC-styrningen. Dess placering på den primära sidan av GaNSTar ger utrymme för ytterligare utveckling i framtiden för att införliva PFC-stegdrift.

För att skapa digital LLC-styrning på primärsidan med hjälp av STM32G4x4 måste LLC-omvandlarens återkopplingsignal för utspänningen passera den galvaniska isolering som skiljer de två delarna åt. GaNSTar-designen erbjuder två alternativ. Det första använder en linjär isolationsförstärkare med en relativt hög kostnad. Denna krets är stabil och effektiv i drift.

Två digitala styrslingor har implemen-



Figur 2. Layouten på GaNSTar-kortet.

terats med hjälp av denna återkopplingsmetod. En PID-regulator ger en adekvat svarstid. Vi har också implementerat en mer avancerad PID-algoritm som förbättrar den typiska svarstiden för en förändring i belastningen – från 20 till 80 procent – från cirka 500 µs till cirka 300 µs.

Det andra alternativet använder en kombination av en shuntregulator (TL431) och en optokopplare vilket potentiellt begränsar reglerloopens svarstid eftersom den

har relativt låg bandbredd. Att applicera en kaskadkopplad bipolär PNP-transistor på fototransistorn i optokopplaren ökar bandbredden till 45 kHz.

**REGLERLOOPEN ÄR DELVIS** analog, delvis digital. TL431 är konfigurerad som en integrator som ger hög förstärkning vid låga frekvenser. STM32G4x4 utför digital bearbetning av felsignalen från optokopplaren för att skapa en styrsignal som är mycket



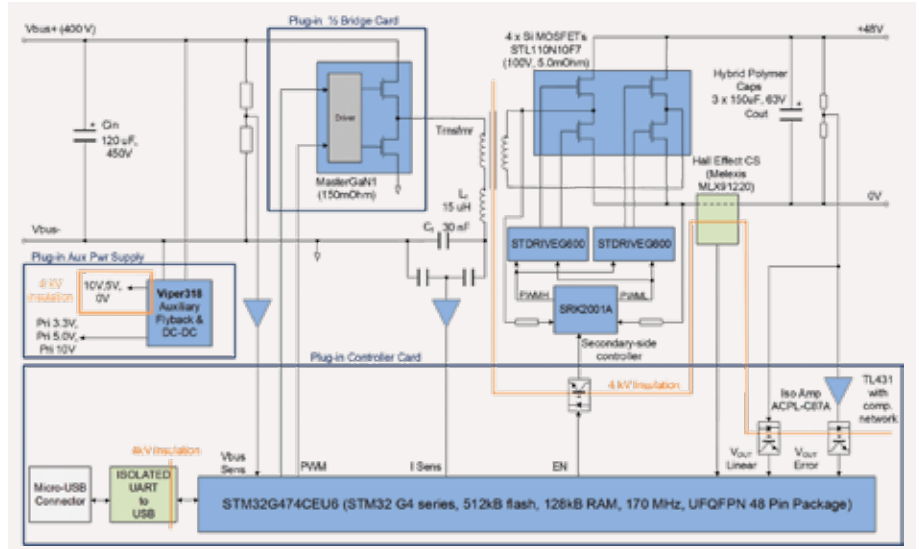
lik den filtrerade PID-metoden, men till en lägre materialkostnad än den första metoden som använder en isolationsförstärkare.



Labbtester med en prototyp av GaNSTar visade var det största problemet vid användning fanns, det var inte i de snabbswitchande GaN-komponenterna.

Vid konvektionskyllning är uteffekten begränsad till 300W, vilket inte beror på switchkomponenternas temperatur utan på transformatorns. Vid en uteffekt på cirka 350W med konvektionskyllning och en omgivningstemperatur på 25°C är transformatorns temperatur högre än 90°C. Detta är en obekvämligt hög temperatur med tanke på att många tillämpningar för en GaN-baserad LLC-omvandlare för högspänning faktiskt körs i omgivningstemperaturer över 50°C. Denna termiska prestanda är ett resultat av transformatorns kombinerade förluster i kärnan och lindningarna vid hög switchfrekvens och hög ström.

**VID EN NORMAL** inomhustemperatur och en nominell uteffekt på 500W arbetar MasterGaN1 vid en temperatur på bara 42°C när den kyls av en enkel 5V-fläkt som ger ett luftflöde på 7 CFM. Denna prestanda kräver ingen avancerad värmehantering – i GaN-



Figur 3. Kretsschema för GaNSTar med halvbryggan på primärsidan och helbryggan på sekundärsidan.

Star har MasterGaN1 inget annat än en liten, billig keramisk kylfläns.

Som framgår av figur 5 arbetar alla komponenter vid relativt låga temperaturer när de är fläktkylda; sekundärsidans MOSFET:ar i kisel är de varmaste komponenterna och når en temperatur på cirka 65°C vid 500W uteffekt.

GaNStar-konstruktionen visar alltså att den praktiska gränsen för uteffekten från

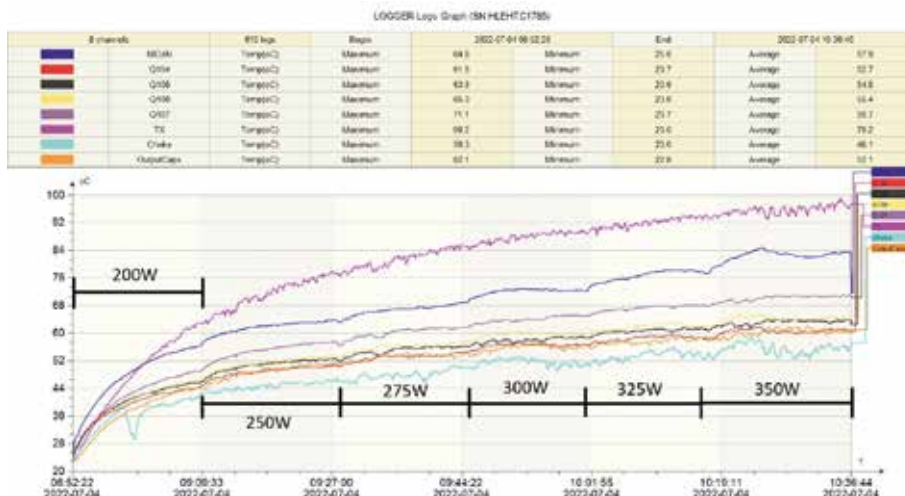
en GaN-baserad LLC-omvandlare sannolikt kommer att sättas av transformatorns temperatur. Konstruktionen visar att en LLC-omvandlare på ett tillförlitligt sätt kan försörja en 500W-last med enbart en liten mängd luftkyllning och minimal kylfläns. Det finns många alternativ för att öka uteffekten, bland annat genom att använda en kraftfullare fläkt och applicera en kylfläns på transformatorkärnan. Att använda planarmagnetisk designteknik kan också förbättra prestanda.

Den viktigaste lärdomen av GaNSTar-kortet är att GaN-tekniken ger betydande utrymmesbesparingar. Med en storlek på 66x116x40 mm och en switchfrekvens på 250kHz är GaNSTar-kortet ungefär 30 procent mindre än en motsvarande 500W LLC-omvandlare baserad på MOSFET:ar med en switchfrekvens upp till 100kHz.

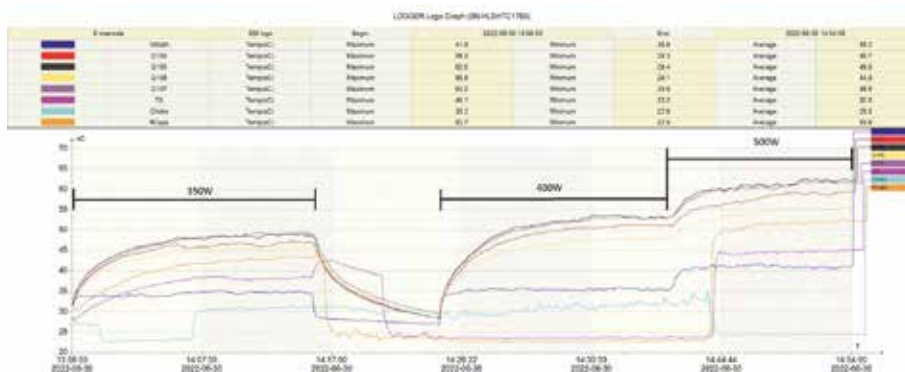
De som designar ett skräddarsytt system kan förvänta sig ännu större utrymmesbesparing eftersom de kan använda konstruktionsoptimeringar som inte var lämpliga för GaNSTar, som är ett demonstrationskort.

**UTÖVER DETTA FINNS** fler saker som kraftsystemkonstruktörer bör ta hänsyn till när de bygger nya system baserade på GaN-komponenter:

- X7R-kondensatorer används ofta i kraftelektronik, men i GaNSTar-kortet gav de för stor kapacitansvariation över likströmsbias vilket ändrade systemets resonansfrekvens. Ett byte till COG-kondensatorer – kortet använder tre 10 nF GRM31C5C2J103JWA3L från Murata – eliminerade detta problem.
- Kylflänsar av aluminium eller koppar används oftast i kraftsystem men keramiska kylflänsar har flera fördelar på bekostnad av lägre termisk effektivitet: låg kostnad, ingen parasitär kapacitans och enklare montering med bara termiskt lim plus avsaknad av krav på isolerande gränssnittsmaterial. I GaNSTar-kortet fungerar MasterGaN1-enheten tillförlitligt med en keramisk kylfläns.



Figur 4. Komponenttemperaturer vid konvektionskyllning i normal inomhustemperatur och ökande uteffekt.



Figur 5. Grafer över temperaturen för komponenterna i GaNSTar med fläktkyllning.