

Kompakta ultraljudssystem



*En utmaning
för analogdelen*



Av John Scampini, Maxim Integrated

John Scampini är ansvarig för industriell kommunikation och affärsområdet för ultraljud på Maxim. Innan han började på Maxim år 2001 arbetade han över 14 år med att konstruera utrustning för hjärt- och ultraljudsundersökningar.



Under det senaste decenniet har ultraljudsutrustningar för medicinskt bruk genomgått en revolution. Det som en gång vägde hundratals kilo och krävde en kärva för att flyttas är idag inte större än en bärbar dator.

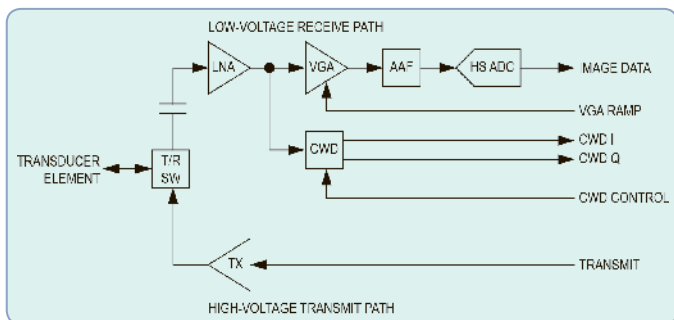
Men att konstruera dessa system är en utmaning. Det tillgängliga utrymmet är begränsat, kraftförsörjningen ska få plats, och ständigt ökande krav på prestanda erbjuder rejäla problem.

Konstruktörerna måste välja analogkretsar med omsorg. Kretsarna ska ha en hög grad av integration, vara effektsnåla och ha tillräcklig prestanda. Man måste också analysera systemet och konstruera det så att det inte dyker upp brusrelaterade problem, något som annars är vanligt i dessa kompakta konstruktioner.

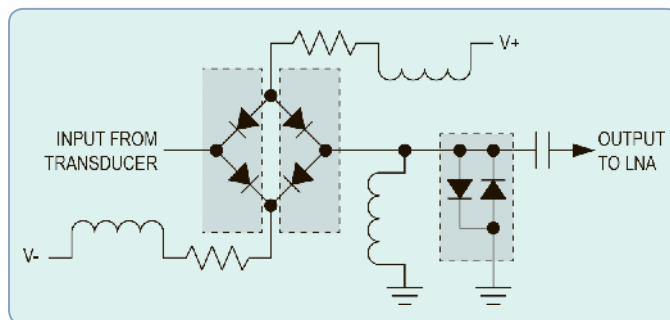
För att få hög bildkvalitet måste det finnas plats för ett stort antal transceivers till ultraljudssignalerna i det begränsade utrymme som står till buds. Det är ingen enkel uppgift att få in minst 128 transceivers som dagens system kräver,

FÖR ATT SKAPA EN BILD med hjälp av ultraljud måste den högpända sändardelen skapa en perfekt synkroniserad puls som exciterar sändarelementen och därmed genererar en fokuserad akustisk våg. Denna reflekteras av diskontinuiteter i impedansen i patientens kropp och tas sedan emot av samma element för att sedan skickas vidare till mottagardelen av transceivern.

Transceivern består av en switch för sändning respektive mottagning (TR switch), en lågbrusförstärkare (LNA), en förstärkare med justerbar förstärkning (VGA), ett anti-vikningsfilter (AAF) liksom AD-omvandlare (ADC). Varje mottagare (transducer) är kopplad till en lågbrusför-



Figur 1. Blockdiagrammet för ultraljudstranseivern visar vilka olika delar som är nödvändiga för funktionen.



Figur 3. Switchen för omkoppling mellan sändning och mottagning har nio diskreta komponenter. I ett 128-kanaligt system skulle det innebära över 1 000 komponenter enbart för den funktionen.

stärkare genom en sändar/mottagarswitch som skyddar förstärkaren från den högspända utsignalen.

Lågbrusförstärkaren gör den första förstärkningen med en förutbestämd nivå för att optimera mottagarens brusfaktor. Den justerbara förstärkaren används för att kompensera för dämpningen av ultraljudssignalerna i kroppen, något som reducerar kraven på det dynamiska området i den efterföljande AD-omvandlaren.

Antivikningsfiltret tar bort frekvenser som ligger ovanför "bildfrekvenserna" och som skulle skapa fel i AD-omvandlingen. Den förstärkta och digitaliserade signalen fördröjs och summeras sedan i systemets digitala lobformare. Resultatet används sedan för att skapa en tvådimensionell bild.

Mottagaren har också ett läge för kontinuerlig sändning, så kallad continuous wave Doppler (CWD), där kraven på mottagarens dynamiska område är större än vad som går att åstadkomma med den justerbara förstärkaren och AD-omvandlaren. För att kunna använda CWD-läget måste den mottagna signalen blandas med en fasmatchad lokaloscillator för att sedan summera basbandssignalerna.

Mottagarkedjan för CWD-läget består av analoga I/Q-blandare med stort dynamiskt område och programmerbara lokaloscillatorer.

Varje transceiver har en stor funktionalitet och att få in 128 eller fler i något som

är av samma storleksordning som en bärbar dator är en utmaning. Tillverkare av analoga kretsar har svarat på utmaningen med allt mer integrerade lösningar. Idag är det vanligt att hitta åttakanaliga mottagare med lågbrusförstärkare, justerbar förstärkare, antivikningsfilter och AD-omvandlare i kapslar som är så små som 10×10mm. Även kretsar som genererar ultraljudssignalerna finns i varianter med fyra och åtta kanaler i kapslar på 10×10 mm.

DEN HÄR UTVECKLINGEN har varit avgörande för den senaste generationen av bärbara system, men det finns utrymme för ytterligare integration.

Den åttakanaliga transceivern MAX2082 är ett exempel på utvecklingen inom högintegrerade ultraljudslösningar. Kretsen, som upptar 10×23 mm, innehåller en komplett mottagare, switchen för omkoppling mellan sändning och mottagning, kopplingskondensatorer och ultraljudsgeneratoren med tre effektnivåer. De höga integritetsgraden spar mycket yta, kortar utvecklingstiden och sänker systemkostnaden.

Utrymmesbesparingen med en så kraftigt integrerad krets kan bli dramatisk. Ta en typisk diskret switch för omkoppling mellan sändning och mottagning som exempel. Den består av nio olika komponenter i lösningen i figur 3. I ett 28-kanaligt system skulle det motsvara över 1 000 diskreta

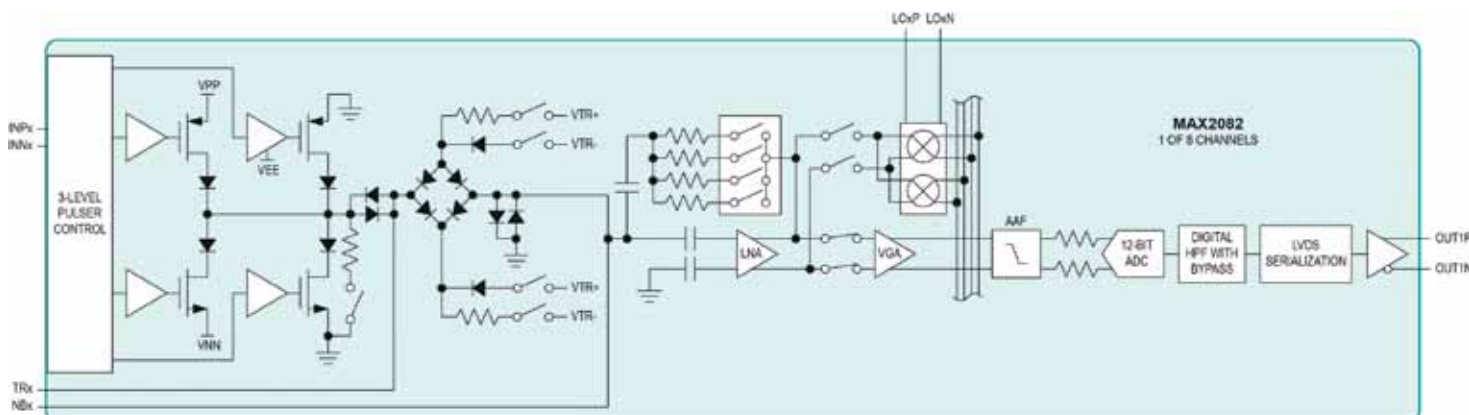
komponenter enbart för switchfunktionen.

Effektförbrukningen är en viktig fråga för så här kompakta konstruktioner. Många av ultraljudssystemen är bärbara och måste drivas under en timme eller mer från batteriet utan att behöva laddas.

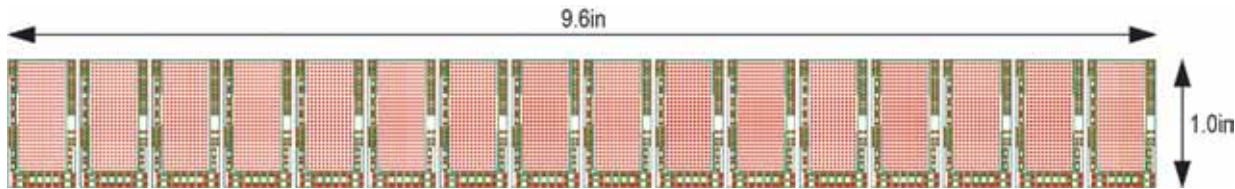
Värmeutvecklingen är också problematisk eftersom komponenterna är tätt packade och kretskorten kan sitta tätt vilket ger väldigt lite utrymme för luftflödet. Transceivrar står för en stor del av effektförbrukningen och kräver därför speciell uppmärksamhet.

Under de senaste tio åren har effektförbrukningen halverats. Det är numera vanligt att hitta mottagarkretsar med lågbrusförstärkare, justerbar förstärkare, antivikningsfilter och AD-omvandlare som drar mindre än 150mW per kanal. Den nya generationens mottagare har också flexibla funktioner som låter användaren välja mellan hög effekt för bästa prestanda, men också lågeffektslägen när instrumentet inte används men som snabbt går upp i arbetsläge.

DET FINNS FORTFARANDE UTRYMME för ytterligare förbättringar. Switchen för omkoppling mellan sändning och mottagning kan dra 80mW per kanal eftersom den kräver en stor förspänningsström som sänker impedansen och därmed kräver på brusprestanda. Det är nästa lika mycket effekt som resten av mottagaren.



Figur 2. MAX2082 innehåller den kompletta ultraljudstranseivern, switchen, kopplingskondensatorer och ultraljudsgeneratoren med tre nivåer.



Figur 4. En typisk kretskortslayout med MAX2082 för en 128-kanalig transceiver. Ytan som krävs är mindre än 64 kvadratcentimeter vilket är hälften jämfört med dagens lösning med åttakanaliga mottagare, åttakanaliga sändare och diskreta switchar.

Nyare och integrerade switchar, som i MAX2082, har bättre brusprestanda än diskreta lösningar och drar mindre än 15 mW per kanal.

En hög grad av integration och låg effektförbrukning är två designutmaningar för bärbara ultraljudssystem. Inte lika uppenbart är prestandafrågor som hänger samman med miniaturiseringen.

Ultraljudssystem är extremt känsliga för både utstrålade och ledningsbundna störningar inom frekvensområdet 2 MHz till 15 MHz. Ingångsbruset på en enskild kanal kan vara så lågt som 1 nV/rtHz. I ett typiskt 128-kanaligt system kan en oönskad signal som tas in av alla ingångar ge en förstärkning på 21 dB beroende på fördröjningen mellan kanalerna.

En brussignal som är så låg som 0,09 nV/rtHz men som finns på alla ingångar och som ligger inom frekvensbandet kan resultera i olika artefakter, störningar i bilden.

Dessa artefakter är så vanliga att de kallas blixartefakter eftersom de liknar ett snabbt blixtljus på skärmen. Dessa små störningar kan komma från en rad olika källor, både ledningsbunda och utstrålade.

KONSTRUKTÖRER av ultraljudssystem anstränger sig hårt för att fysiskt separera och skärma av digitala kretsar från de känsliga, analoga delarna och för att undvika jordslutor. Tyvärr finns inte lyxen att separera dem fysiskt och skärmningen kan vara problematisk på grund av utrymmesbrist och värmeutveckling. Därför är det mycket vanligt att det blir brusproblem särskilt när analogdelarna är nära kortdatorer som ofta används för beräkningsuppgifter och för att styra skärmen. Det är därför särskilt viktigt att utföra jordning och skärmning på ett korrekt sätt. Att försöka modifiera dessa

utrymmesbegränsade konstruktioner sent i utvärderingsfasen kan vara extremt svårt och tidsödande.

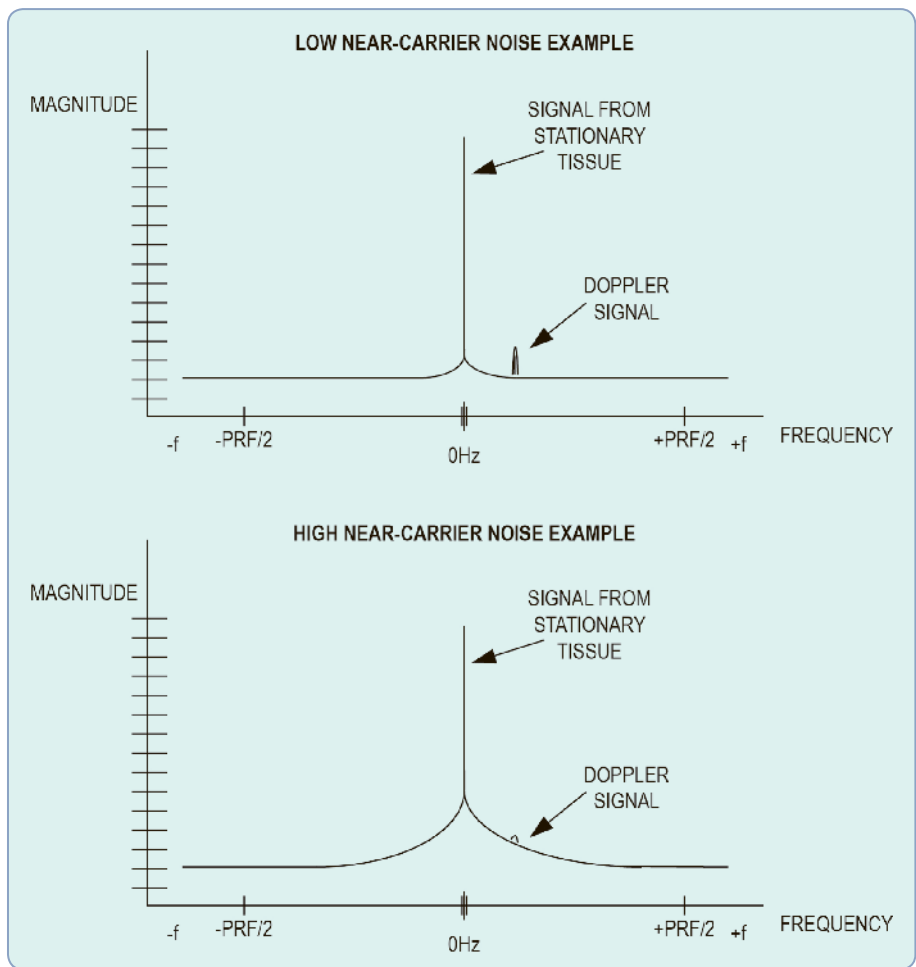
I många fall kan även lågfrekvent brus vara ett problem. I ultraljudssystem detekteras blodflödet genom att mäta små dopplerskift i den reflekterade signalen. En lågfrekvent modulation av den utsända eller mottagna signalen från stationära objekt kommer att resultera i brusrelaterade sidband som kan skymma de intressanta dopplersignalerna. Alternativt kan de skapa oönskade frekvenser i dopplerspektrum. I pulskodade dopplerapplikationer måste förhållandet mellan effekten i den utsända signalen och bruset vid 1 kHz offset vara mer än 140 dBc/Hz. För system med kontinuerlig signal (CWD) är kraven ändå högre med 155 dBc/Hz eller mer.

Det finns många källor till det här lågfrekventa bruset men den största och samtidigt vanligaste är lågfrekvent brus från kraftaggregatet. Det kan skapa jitter i känsliga klockor till sändar- och mottagardelen som i sin tur kan begränsa dynamiken eller skapa oönskade dopplerfrekvenser. Det kan också skapa lågfrekvent brus på styrningen till den justerbara förstärkaren som i sin tur kan modulera de starka signalerna från huden och därmed dölja svar från svagare signaler.

DET LÅG-FREKVENTA BRUSET från kraftaggregatet kan enbart reduceras effektivt med aktiv styrning. Traditionellt, i större rackmonterade system, hade man linjära omvandlare med låg effektivitet lite varstans i systemen för att få kontroll på problemet. I bärbara system fungerar inte den metoden.

Därför måste konstruktörerna använda distribuerade och switchade regulatorer för att förbättra effektiviteten. Tyvärr kan den här typen av regulatorer skapa signifikant, högfrekvent brus, både ledningsbundet och utstrålat, som är svårt att hantera även med korrekt avkoppling.

Spektral doppler är särskilt känslig för den här typen av brus eftersom switchfrekvensen kan skapa signaler i dopplerspektrum, en vanlig artefakt i den här typen av system. Ett sätt att försäkra sig om att det här bruset inte syns är att synkronisera switchfrekvensen med huvudklockan i systemet. På så sätt kan switchbruset enklare skiftas ut ur det intressanta dopplerbandet samtidigt som man får hög verkningsgrad.



Figur 5. Dopplerbrus nära bärvågen.