

Elbert Bechthum

Wide-band Mixing-DACs with high spectral purity

Multicarrier zenders voor de communicatie infrastructuur vereisen zowel hoge lineariteit als een grote bandbreedte op GHz frequenties. De combinatie van multicarrier GSM, WCDMA en LTE vereist typisch $IMD < -80\text{dBc}$ en $SFDR_{RB} > 80\text{dBc}$ in een grote zendbandbreedte van 300MHz en op frequenties tot 3.5GHz en hoger.

Het gebruik van een Mixing-DAC, die de functie van een mixer en een DAC integreert, kan leiden tot andere architectuurafwegingen dan het combineren van een DAC en een mixer. Nieuwe architecturen zouden een reductie van kosten en vermogensdissipatie mogelijk kunnen maken, terwijl de lineariteit op hoge frequenties wordt verbeterd. De state-of-the-art Mixing-DAC publicaties vermelden geen hoge lineariteit, en vooral niet in combinatie met een grote bandbreedte. Dit proefschrift verkent de lineariteitsbeperkingen van Mixing-DACs en de uitdagingen van het ontwerp van een Mixing-DAC met hoge spectrale zuiverheid en grote bandbreedte.

Om een hoge spectrale zuiverheid te bereiken is een nieuwe architectuur nodig. De synthese van de nieuwe architectuur vereist optimale keuzes voor alle aspecten van de architectuur. Dit proefschrift classificeert alle mogelijke keuzes voor de architectuuraspecten en evalueert hun invloed op de prestaties van de Mixing-DAC. Gebaseerd op deze classificatie zijn drie veelbelovende architecturen geselecteerd voor verdere analyse: gecascadeerd globaal mixen, gecascadeerd lokaal mixen en cascadegeschakeld lokaal mixen (digitaal mixen). Een belangrijke afweging tussen deze architecturen is de lokaliteit van het mixen. Globaal mixen bij de uitgang van de Mixing-DAC is gevoelig voor de niet-lineariteit van de mixer transistors. Lokaal mixer per stroomcel is gevoelig voor de mismatch tussen de lokale mixers. Simulaties laten zien dat gecascadeerd lokaal mixen tot een hogere lineariteit leidt dan gecascadeerd globaal mixen.

Het verschil tussen gecascadeerd lokaal mixen en digitaal mixen is de gevoeligheid voor tijdfouten. Er zijn twee soorten tijdfouten: gelijke vertraging van de steigende en dalende flank (delay), en tegenovergestelde vertraging van de steigende en dalende flank (duty-cycle). Beide architecturen zijn veel gevoeliger voor delay-fouten dan voor duty-cycle-fouten. De delayfouten in digitaal mixen zijn veel groter dan in gecascadeerd lokaal mixen, en dus is de laatstgenoemde de meest lineaire architectuur.

Een methode om de niet-lineariteit ten gevolge van een grote signaalamplitude aan de uitgang van de Mixing-DAC te verminderen, is het gebruik van een uitgangstransformator. Het gebruik van een uitgangstransformator met een optimale configuratie zorgt inderdaad voor een verbetering van de lineariteit, maar dit leidt wel tot een vier keer hogere vermogensdissipatie.

Voor het bereiken van een hoge spectrale zuiverheid moet de statische mismatch tussen de stroombronnen ook worden geminimaliseerd. Dit proefschrift stelt een kalibratiemethode voor, die meerdere unit-elementen van de stroombron op een zodanig manier combineert dat de mismatch van de verschillende unit-elementen elkaar compenseren. Dit resulteert in een verbetering van de statische lineariteit die robuust is voor temperatuurvariaties en externe verstoringen.

Ook de segmentatieaspecten zijn overwogen. De traditionele segmentatieafwegingen in literatuur zijn gebaseerd op de statische eigenschappen. Maar voor Mixing-DACs met hoge snelheid en hoge spectrale zuiverheid zou de

segmentatieafwegingen ook gebaseerd moeten zijn op de dynamische mismatch van de binaire stroomcellen welke bereikt kan worden.

In dit proefschrift wordt dus geconcludeerd dat de meest optimale architectuur is gecascadeerd lokaal mixen. Deze architectuur is gecomplementeerd in 65nm CMOS tripple-well technologie met 1.2V en 3.3V voedingsspanningen. De cruciale eigenschappen van deze architectuur zijn: lokaal mixen per stroomcel, multi-level cascoderen met dubbele bleedstromen en verhoogde bulkspanning, voedingsspanning-gesoleerde LO-driver, en sorteer-en-combineer kalibratie.

De meetresultaten bij 1.9GHz uitgangsfrequentie zijn: $IMD < -82dBc$, $SFDR_{RB300MHz} > 75dBc$, $NSD < -165dBm/Hz$. De lineariteit tot 1.5GHz is zo goed als constant en is afhankelijk van het basisbandfrequentiegedeelte van de Mixing-DAC. Boven 1.5GHz degradeert de lineariteit voor toenemende uitgangsfrequentie door cel-afhankelijke tijdfouten in de mixer. Toch heeft het gepresenteerde ontwerp een betere IMD en $SFDR_{RB}$ dan alle state-of-the-art Mixing-DACs tot aan de maximaal gemeten uitgangsfrequentie van 5.3GHz.

De gepresenteerde classificatie, analyse en verificatie van een volledig ontwerp, valideren dat Mixing-DACs tegelijkertijd hoge spectrale zuiverheid en grote bandbreedte kunnen leveren.