

Prisvinnerartikkel • Mikroelektronikkprisen 2008

Høyhastighets delta sigma AD-omformere

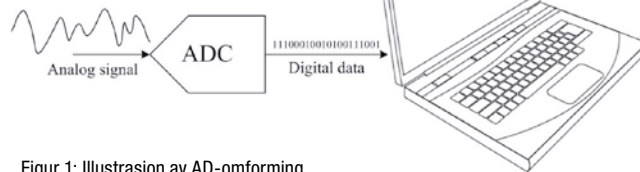
Kontinuerlig tid delta-sigma (CTDS) analog-til-digital-omformere (ADC) har de siste årene kommet opp på et hastighetsnivå som gjør at de nå kan konkurrere med tradisjonelle ADC'er i en rekke applikasjoner som opererer i hastighetsområdet 10-20 MHz.

Av Rune Kaald

Delta-sigma AD-omforming har vært under konstant utvikling siden prinsippets opprinnelse på 60-tallet. Arkitekturen er mer kompleks enn tradisjonelle AD-omformere, og virkemåten kan være vanskelig å forstå. Denne artikkelen vil beskrive tidskontinuerlig delta sigma AD-omforming, fordeler, ulemper og tilslutt mitt arbeid og bidragene i min masteroppgave på dette området.

AD-omforming

En AD-omformer har som oppgave å konvertere et analogt signal til digital form, så det kan lagres og prosesseres i digitale enheter. For å kunne representeres som en endelig mengde data må signalet først samples eller punktpåvises med en gitt tidsoppløsning, typisk referert til som samplingsfrekvensen, før det kvantiseres med en gitt amplitudeoppløsning. Sammenhengen mellom inngangssignalet og de kvantiserte verdiene er svært uli-



Figur 1: Illustrasjon av AD-omforming

near, og lar seg vanskelig representere som en matematisk funksjon. Ved å betrakte frekvensspekteret til den kvantiserte sekvensen vil en imidlertid se at det er tilnærmet flatt. Dermed kan en betrakte kvantisering som en additiv hvit støy. Dette er svært nyttig når en analyserer et system hvor en har en kvantiseringsprosess fordi en kan modellere kvantiseringen som en additiv støykilde. Desto flere antall bit en AD-omformer har, desto lavere er den teoretiske kvantiseringsstøyen (den totale støyen i en reell AD-omformer er som regel dominert av termisk støy).

Fordeler med delta-sigma

Øverst i figur 2 er signalkjeden i en tradisjonell frontend for ultralyd-systemer illustrert. I første trinn forsterkes inngangssignalet av en lavstøyforsterker (LNA – Low Noise Amplifier). I neste trinn forsterkes signalet igjen som funksjon av en tidsforsinkelse (TGC – Time Gain Compensation). Etter dette følger et antialias-filter som båndbreddebegrenser signalet til halve samplingsfrekvensen, en forutsetning for å kunne korrekt represen-

tere det på digital form (dette beskrives av Shannons samplingsteorem, og den påkrevde samplingshastigheten på to ganger signalebåndbredden kalles ofte Nyquistraten). AD-omformeren må også ha en egen inngangsdriver. Årsaken til dette er at samplingskretsen på inngangen av AD-omformeren har stor kapasitans og må drives av en svært bredbåndet

og effektkrevende forsterker. I en CTDS kan begge disse blokkene fjernes. Inngangsdriveren er ikke nødvendig fordi en CTDS ikke har noen stor samplingskondensator på inngangen. I tillegg er anti-aliasing innebygget i strukturen. CTDS AD-omformere reduserer kostnaden i form av eliminering av to effektkrevende byggeblokker, noe som gir økt integrasjonsfaktor og i mange sammenhenger gjør den å foretrekke framfor tradisjonelle AD-omformere.

Delta sigma virkemåte

Ved å oversample, det vil si sample på en høyere frekvens enn kravet på to ganger signalets båndbredde for å kunne rekonstruere det i henhold til Shannons

Avansert mini IR kamera til mini pris



Nortronicom AS

Tlf. 23 24 29 70

www.nortronicom.no

SÅ!

...er det bare å ringe oss!

ELPRINT 55 92 55 00

MACAOS



samplingsteorem, vil en etter etterfølgende desimering oppnå en høyere nøyaktighet. Dette er fordi kvantiseringsstøyen blir spredt ut over et større frekvensområde (illustrert i figur 3).

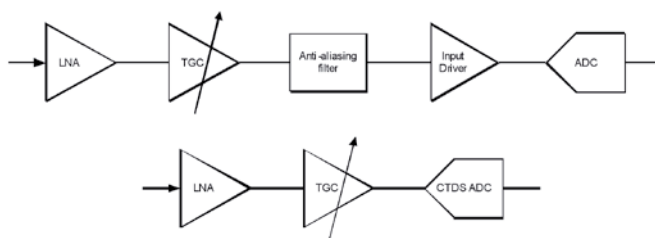
Det kan vises at for hver dobling av samplingsfrekvensen i forhold til Nyquistraten, oppnås en gevinst på 3dB i signal til støy - forhold. Å øke samplingsfrekvensen og så desimeringsfiltrere, er imidlertid en lite gunstig metode for å øke nøyaktigheten til en AD-omformer fordi effektforbruket blir uforholdsmessig mye høyere. Hvis en derimot kunne redusere kvantiseringsstøyen innenfor signalbåndet ved å flytte det ut av signalbåndet kan en ytterligere gevinst oppnås. Ved å benytte en metode for støyforming der kvantiseringsstøy formes ut av signalbåndet, vil en kunne øke nøyaktigheten drastisk. Delta-sigma modulasjon er en måte å gjøre dette på.

Figur 4 viser en generell delta sigma AD-omformer. En skiller mellom en modulator og et desimeringsfilter. I tidsdomenet er virkemåten slik at modulatorene måler forskjellen mellom inngangssignalet og et signal fra en intern lavoppløsnings digital-til-analog-omformer (DAC). Differensen her går så gjennom et sløyfefilter for så å presenteres for en intern lavoppløsnings AD-omformer, som igjen kobler det kvantiserte signalet tilbake til inngangen.

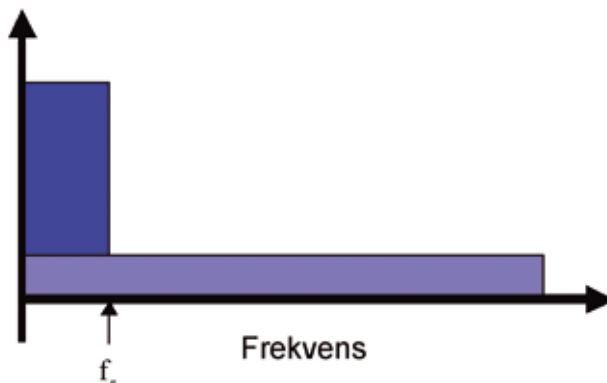
Nøkkelen til å forstå hvordan denne moduleringen foregår er å uttrykke overføringsfunksjoner i frekvensdomenet. Tar en utgangspunkt i hvitstøy-modellen for kvantisering kan modulatorene lineariseres. Kvantiseringen uttrykkes som en additiv støykilde, E. Overføringsfunksjonene fra inngangen V og kvantiseringsnoden E til utgangen av modulatorene Y, er da gitt som:

$$Y = \underbrace{\frac{H(f)}{1+H(f)}}_{\text{Signaloverføringsfunksjon}} \cdot V_{IN} + \underbrace{\frac{1}{1+H(f)}}_{\text{Støyoverføringsfunksjon}} \cdot E$$

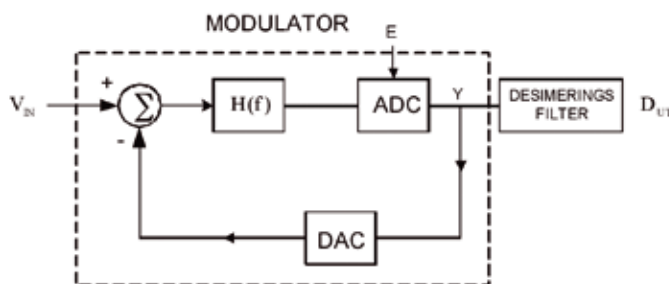
Hvis en tenker seg at magnituderesponsen til sløyfefilteret er veldig stor innenfor signalbåndet ser en at signaloverføringsfunksjonen vil ha en tilnærmet enhetsoverføring. Støyoverfø-



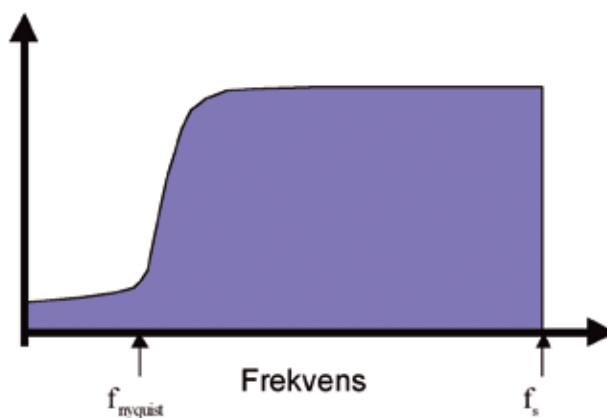
Figur 2: Topp; Tradisjonell signalkjede Bunn; Forenklet signalkjede med CTDS.



Figur 3: Illustrasjon av redusert kvantiseringsstøy innenfor båndbredden f_s pga oversampling



Figur 4: Delta sigma AD-omformer



Figur 5: Illustrasjon av oversampling med delta sigma støyforming

ringsfunksjonen vil derimot være svært liten. Merk at støyoverføringsfunksjonen bestemmer hvor mye kvantiseringsstøyen bidrar innenfor signalbåndbredden.

Kombinasjonen av oversamp-

ling og støyforming gjør at en kan oppnå svært god nøyaktighet med denne type AD-omformere og samtidig ha et lavt effektforbruk. Det at en bytter hastighet mot nøyaktighet gjør at denne type

AD-omformere tradisjonelt sett har blitt brukt hvor det er lav signalbåndbredde, typisk i audio og lavfrekvente sensorapplikasjoner.

I motsetning til vanlige AD-omformere hvor signalet samples ved inngangen, kan en i en delta sigma AD-omformer imidlertid flytte samplingskretsen bak sløyfefilteret. Dette er hva man kaller kontinuerlig tid delta-sigma (CTDS). I forhold til diskret tid hvor samplingen skjer ved inngangen, har dette noen store fordeler. Den største er at kravene til båndbredde til forsterkerne i sløyfefilteret blir redusert. Dette gjør at samplingsfrekvensen kan økes ytterligere og dermed kan også båndbredden til inngangssignalet økes. En annen fordel er at siden samplingen foregår etter sløyfefilteret og da på innsiden av sløyfen, vil samplingskretsen være underlagt sløyfeforsterkning som medfører mindre krav til nøyaktighet. I tillegg vil den være underlagt signaloverføringsfunksjonen som generelt har en lavpass karakteristikk. Dermed trenger en ikke benytte et antialiasingfilter foran AD-omformeren. Dette gjør at en for eksempel i et radiosystem kan benytte hele båndbredden til AD-omformeren (i motsetning til diskrete Nyquist-rate-omformere hvor knekkfrekvensen til antialiasingfilteret må settes godt innenfor båndbredden).

Kontinuerlig tid delta sigma er forøvrig ikke uten ulemper. I motsetning til tidsdiskret delta sigma, hvor de interne strømmene overføres som pulser, foregår overføringen kontinuerlig. Dette medfører mye større krav til nøyaktigheten til klokken som styrer omformeren. Det gjør også at for en adc med både høy nøyaktighet og høy hastighet behøver en on-chip PLL for å øke nøyaktigheten til klokken.

Mitt bidrag

Mitt bidrag i masteroppgaven var å utvikle en høynivåmodell for å simulere ideelle- og ikke-ideelle effekter i CTDS. Metoder for å kompensere for forskjellige ikke ideelle effekter ble undersøkt og vurdert opp mot hverandre. Til slutt ble en implementeringsspesifikasjon laget.

Simulering på høynivå hvor en

kan undersøke virkningen av ikke-ideelle effekter er svært viktig for delta-sigma AD-omformere. Siden dette er et tilbakekoblet system kan det bli ustabil. Stabilitet for slike tilbakekoblede systemer er umulig å definere matematisk siden de har en blokk som bidrar med svært ulineær forsterkning. Det en vanligvis gjør er å inkludere de viktigste ikke-ideelle effektene, og observere gjennom simuleringer hvor-

dan systemet oppfører seg. Ut i fra dette kan en videre bestemme grenseverdier for spesifikasjoner for byggeblokkene for å sikre at stabilitet er garantert.

I ethvert design av AD-omformere ønsker en å optimalisere forholdet mellom ytelse, i form av nøyaktighet og effektforbruk. Det er viktig å finne spesifikasjoner for hver byggeblokk som gir optimal ytelse uten at kostnaden i form av effektforbruk blir for

stor. For delta sigma modulatorer kan mye effekt spares ved å optimalisere sløyfefilteret.

Oppsummering

Denne artikkelen beskriver kort bakgrunnen for mitt arbeid og min masteroppgave om modellering og forarbeid for utvikling av en kontinuerlig tid delta-sigma AD-omformere. CTDS er en viktig del av forskningsfronten for AD-omforming, spesielt med hensyn på

ultralysystemer. Reduksjon av strømforbruk og utvikling av mer portable ultralysystemer antas å bli et viktig forskningsområde med stort industrielt potensiale. For mer informasjon om delta-sigma anbefales interesserte lesere boken «Understanding Delta-Sigma Data Converters» av Richard Schreier (Wiley & Sons, ISBN 0471465852), som gir en grundig innføring i emnet.

Mikroelektronikkprisen 2008

Hvert år deler bladet Elektronikk og foreningen Mikroelektronikkforum ut en pris for beste masteroppgave innen mikroelektronikkonstruksjon ved Institutt for elektronikk og telekommunikasjon, NTNU. Prisen for 2008 gikk til Rune Kaald for hans oppgave "Modelling, Simulation and Implementation Considerations of High Speed Continuous Time Sigma Delta ADC".

Effektforbruket i analog til digital omformere (ADCs) reduseres stadig. Det er imidlertid fortsatt behov for videre reduksjon når disse brukes i batteridrevne radiosystemer. I de senere år har såkalte "Continuous Time Sigma Delta" (CTSD) omformere beveget seg mot signalbåndbredder som gjør det mulig å bruke dem i slike applikasjoner. For å få til den nødvendige reduksjonen i effektforbruk uten at dette går ut over systemets ytelse er det imidlertid viktig å ha svært detaljert kunnskap om CTSD ADCs. I oppgaven sin har Kaald studert ulike arkitekturer som benyttes i slike omformere. Han har laget en høynivåmodell av

systemet og undersøkt viktige ikke-ideelle effekter som kan opptre og hvordan man kan kompensere for disse. Til slutt har han laget spesifikasjoner for implementering av de ulike byggeblokkene i modellen. Du finner en artikkel et annet sted her i bladet der han selv beskriver arbeidet sitt.

Komplekst

I følge juryen har Rune Kaald vist svært god evne til å sette seg inn i et teoretisk komplekst felt. Han har på en god måte utnyttet denne kunnskapen og forståelsen til å definere en løsning og han har vist stor arbeidskapasitet ved videre å



Prisvinner Rune Kaald sammen med jury medlem Bjørn B. Larsen fra NTNU.

analysere og utvikle løsningen til et implementeringsgrunnlag. Dette er en oppgave som viser stor teoretisk dybde og bred praktisk gjennomføringsevne.

Nå ASD-ansatt

Prisen ble delt ut under Elektronikk- og telekom-dagen som tredjeklassstudentene ved Institutt for elektronikk og telekommunikasjon arrangerte 15. januar i år. I tillegg til en plakett, består prisen av en sjekk på 15.000 kroner. Faglærer for oppgaven har vært Professor Trond Sæther. Oppgaven ble foreslått av

Bjørnar Hernes ved Arctic Silicon Devices, og han har også vært medveileder. Juryen besto av Øystein Moldsvor og Bjørn B. Larsen. Rune Kaald er nå ansatt ved Arctic Silicon Devices. Der har han fått anledning til å fortsette arbeidet fra masteroppgaven med sikte på å oppnå en doktorgrad (PhD). Dette er delvis finansiert av Norges Forskningsråd gjennom et såkalt brukerstyrt innovasjonsarena (BIA) stipend. Trond Sæther og Bjørnar Hernes og veiledere på doktorgraden.

Prisutdelerne

Bladet Elektronikk er naturligvis kjent for alle dets lesere. Den andre prisgiveren, Mikroelektronikkforum, består av en gruppe bedrifter som samarbeider med Institutt for elektronikk og telekommunikasjon for å få til et så godt studium som mulig innen mikroelektronikk ved instituttet. Målet er også å sikre at tilstrekkelig antall studenter velger denne utdannelsen.

Møt morgendagens utfordringer! Innbydelse til seminar

Den Norske Utleggerforening (DNU) og Mentor User Group Norway (MUGNor)

inviterer til en faglig sammenkomst i Sandvika/Oslo den 19. og 20. mars 2009.

På første dag blir det parallelle "Hands On Work Shops" på de forskjellige verktøyplattformene i regi av DAK-leverandørene.

Dagen avsluttes med en sosial sammenkomst på kvelden.

Neste dag innledes med Årsmøte i DNU.

Deretter blir det felles faglig seminar.

Nærmere opplysninger og påmelding finnes på

www.dnu.no



Den Norske Utleggerforening

Den Norske Utleggerforening er en tverrfaglig interesseforening tilknyttet norsk elektronikkindustri. Formålet er å bidra til et høyt faglig nivå både hos våre medlemsbedrifter og i bransjen i sin alminnelighet. Det gjør vi blant annet ved å avholde seminarer hvor vi tar opp aktuelle problemstillinger, og gjennom informasjon og bruk og erfaring med ny teknologi, utviklet programvare og nytt teknisk utstyr. Vi legger også stor vekt på sosialt og kollegialt samvær som et virkemiddel for å bygge gode profesjonelle relasjoner både mellom individer og bedrifter.