

Samenvatting

Moderne elektronische schakelingen maken veelal gebruik van CMOS technologie waarin MOSFETs fungeren als actieve elementen. Het gebruik van een MOSFET als versterkend element biedt behalve veel voordelen zoals de lage kosten, de hoge snelheid, en de goede integreerbaarheid ook nadelen, met name de notoire laagfrequente ruis ervan. Het laagfrequent (LF) ruisgedrag van MOSFETs wordt gedomineerd door plaatsgebonden energietoestanden ('traps') aan de Si-SiO₂ grenslaag die een elektron tijdelijk kunnen invangen en daarmee de geleiding van de MOSFET beïnvloeden. In dit proefschrift wordt de LF ruis van MOSFETs bestudeerd onder groot-sig-naal biascondities.

Onder groot-sig-naal biascondities vertonen MOSFETs vaak een afname in LF ruis. Bovendien komen groot-sig-naal biascondities nauw overeen met de manier waarop MOSFETs in echte schakelingen gebruikt worden. Aan drie belangrijke punten wordt in dit proefschrift aandacht besteed. Ten eerste: Hoe kan LF ruis onder groot-sig-naal biascondities gemeten worden, ten tweede: Hoe komt het dat de ruis vaak afneemt onder groot-sig-naal biascondities, en tot slot: Is de LF ruisreductie significant en bruikbaar genoeg om toe te passen bij het ontwerp van analoge schakelingen met MOSFETs?

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op het meten van LF ruis onder groot-sig-naal biascondities. Tevens worden daar de belangrijkste meetresultaten gepresenteerd. Het meten van LF ruis onder groot-sig-naal condities stelt hoge eisen aan het dynamisch bereik van de meetopstelling omdat de LF ruis veel kleiner is dan de tijdvariante bias. Er worden drie methoden toegepast. Ten eerste kan door differentieel te werken, het bias signaal gemeenschappelijk aangeboden worden, terwijl de ruis differentieel blijft. Op deze wijze wordt het gemeenschappelijke signaal door de meetopstelling onderdrukt, en wordt het mogelijk de ruis te meten. Ten tweede kan de ruis van het bias-sig-naal gescheiden worden in de tijd, dus er wordt eerst een bias-puls

aangeboden en kort daarna wordt de ruis gemeten, en tot slot kan de ruis en het bias-sigitaal in frequentie gescheiden worden: de ruis is laagfrequent en het bias-sigitaal hoogfrequent.

Met behulp van deze meetmethoden worden metingen gepresenteerd aan verschillende MOSFETs. Waar grote MOSFETs systematisch een afname van de LF ruis vertonen in grootsigitaal bedrijf, is het gedrag van kleine MOSFETs met een oppervlak van ver onder de $1\mu\text{m}^2$ veel minder voorspelbaar. Deze transistoren vertonen al in de stationaire toestand veel variatie in hun LF ruis, en bovendien is niet met zekerheid van te voren vast te stellen hoe ze zullen reageren op grootsigitaal biascondities. Meestal neemt de LF ruis af, maar soms neemt deze ook toe. Dit komt omdat het gedrag van deze transistoren door slechts één of enkele ‘traps’ gedomineerd wordt. Zowel n- als p-kanaals MOSFETs vertonen soortgelijk gedrag, hetgeen er op duidt dat het ruisgenererende proces hetzelfde is. Tevens wordt gemeten dat het periodiek variëren van zowel de ‘gate’ als de ‘source’ spanning van de MOSFET een vergelijkbaar effect heeft op de LF ruis ervan.

In hoofdstuk 4 wordt een verklaring gepresenteerd voor de meetresultaten aan de hand van de al eerder genoemde ‘traps’, waarvan het gedrag wordt beschreven door de Shockley-Read-Hall theorie. Aan de hand van deze theorie, toegepast onder grootsigitaal biascondities, wordt aangetoond dat de ruis onder grootsigitaal biascondities wordt gedomineerd door traps die zich dicht bij het midden van de bandgap bevinden. Aangezien de trapdichtheid in het midden van de bandgap vaak lager is dan in de buurt van de geleidingsband, kan zo worden uitgelegd dat de ruis gemiddeld gezien afneemt in grootsigitaal bedrijf. Om de voorspellingen van het model te toetsen wordt een simulator beschreven die in staat is het gedrag van de transistoren nauwkeurig te reproduceren. Ook transitief ruisgedrag is goed te begrijpen op basis van het model en de simulator.

Als laatste wordt in **hoofdstuk 5** aandacht besteed aan de vraag of grootsigitaal excitatie voor circuitontwerpers praktisch toepasbaar is om LF ruis van MOSFETs tegen te gaan. In tijdcontinue schakelingen blijkt het mogelijk grootsigitaal excitatie als ruisreductietechniek te gebruiken, maar moet vergeleken worden met een modulerende structuur die de LF ruis geheel verwijdert. Het gebruik van grootsigitaal excitatie in dit soort situaties is dan ook niet zonder meer aan te bevelen. In tijddiscrete schakelingen is het eveneens mogelijk grootsigitaal excitatie nuttig toe te passen als ruisreductietechniek, temeer daar de schakeling tussen de samplemomenten uitgeschakeld kan worden, en er zodoende geen noemenswaardige bezwaren aan het gebruik ervan kleven. Bij ‘correlated double sampling’ structuren moet er

voor gezorgd worden dat de biasgeschiedenis van beide samplenmomenten identiek is, daar de ruis anders eerder toe dan af zal nemen. Ook hoogfrequent schakelingen hebben last van LF ruis door ‘opconversie’ van de ruis. Aangezien de LF ruisreductie niet gevoelig blijkt te zijn voor de frequentie waarmee de MOSFET aan en uit gezet wordt, kan in deze schakelingen ook nuttig gebruik gemaakt worden van grootsignaal excitatie als ruisreductie techniek.

Hoewel ruisreductie door grootsignaal excitatie weliswaar een meetbare afname van de LF ruis van MOSFETs oplevert, is de winst beperkt en afhankelijk van het proces in kwestie. Om grootsignaal excitatie ten behoeve van ruisreductie nuttig toe te kunnen passen moet eerst een voldoende nauwkeurig stationair LF ruismodel beschikbaar zijn. Vervolgens moet het LF ruisgedrag van het proces in kwestie onder grootsignaal condities gekarakteriseerd worden.