

RF MEMS – Neste generasjons teknologi for elektroniske systemer

Integrasjon i RF- og mikrobølgekretser

DEL 3

I de to første artiklene tok vi for oss ulike RF MEMS prosesserings- og pakketeknologier samt basiskomponenter. Vi så at for eksempel RF MEMS svitsjer har en del klare fordeler framfor PIN og FET baserte komponenter, men at det også gjenstår en del prosesseringsmessige utfordringer. Som en naturlig fortsettelse tar vi nå for oss integrasjon av basiskomponenter i RF- og mikrobølgekretser.

Av Anton M. Bøifot og Ulrik Hanke, SINTEF IKT og Kjetil Folgerø, Nera Research

Med fordelene til RF MEMS komponenter friskt i minne er det naturlig å stille spørsmålet: Hva er så anvendelsesområdene for en komponent som er svært liten rent fysisk, ikke er følsom for akselerasjon, har tilsynelatende ingen masse, ikke forbruker DC-effekt, kan bli fabrikkert på lav-kost silisium eller glass og har cut-off frekvenser (operasjon vha. en bølgeomodus) som er 30-50 ganger høyere enn alt som er mulig å oppnå med GaAs? Svaret er selvfølgelig: En mengde ting!

Spesielt har RF MEMS svitsjer et stort anvendelsespotensiale. De kan erstatte andre typer svitsjer i rene svitsjematriser, i mobiltelefoner, i faseskiftere for moderne telekommunikasjon, bilradar, tilpasningskretser, høy-kvalitets instrumentering og en rekke

andre elektroniske systemer. RF MEMS teknologien har også et stort anvendelsespotensiale når det gjelder variable kondensatorer og høy-Q spoler. Disse kan brukes i forbindelse med filterteknologi og som komponenter i oscillatorer, forsterkere og mikserer.

Svitsjenettverk

Den mest åpenbare anvendelsen av RF MEMS svitsjer er kanskje til bruk i forskjellige typer svitsjematriser. Slike nettverk benyttes i nesten ethvert kommunikasjonssystem, og inkluderer SPNT (Single-Pole N-Throw) svitsjer for valg av filtre, tilpasningsnettverk eller forsterkere. De inkluderer også generelle NxN svitsjematriser og DPDT (Double-Pole Double-Throw) svitsjer for ruting av signalet.

Et praktisk eksempel på bruk av svitsjenettverk er i satellitt-systemer. Her brukes som regel

koaksial-svitsjer som en del av nyttelasten oppe i satellitten, mens jordbundne basestasjoner ofte anvender PIN dioder før effektforsterkerne. PIN dioder er billigere enn koaksial-svitsjer, men forbruker en del effekt og introduserer betydelige tap. Det er derfor gjerne nødvendig med både ekstra inngangsførsterkere og ekstra utgangsførsterkere for å kompensere for dette. Med sine lave tap og ubetydelige effektforbruk har RF MEMS svitsjenettverk et stort anvendelsespotensiale i slike nettverk.

Koaksial-svitsjene i nyttelasten har utmerket isolasjon, lave innskuddstap, høy linearitet og tåler betydelig effekt. De er imidlertid store rent fysisk, relativt tunge og i tillegg kostbare. En enkelt DPDT svitsj kan veie hele 100 gram, og et komplett svitsjesystem består gjerne av 100-300 slike svitsjer. Prisen

bare for svitsjesystemet kan komme opp i flere millioner. RF MEMS svitsjer kan møte isolasjonskravene, men har noe høyere innskuddstap. De er imidlertid flere størrelsesordener mindre og lettere, noe som er essensielt for satellittanvendelser. Det er ingen tvil om at anvendelsespotensialet innenfor romfart er meget stort.

Faseskiftere

På tross av åpenbare anvendelsesmuligheter når det gjelder bruk av RF MEMS svitsjer i svitsjematriser, er det nok i forbindelse med anvendelse i faseskiftere at det er lagt ned mest arbeide. Mikrobølge og millimeterbølge faseskiftere er essensielle kretser i fasestyrte antenner for telekommunikasjon og radar. Viktige egenskaper for en faseskifter er lavt innskuddstap, lavt effektforbruk, fasenøyaktighet, lite volum og lav vekt samt lave →

Fra serie interface til Ethernet med Digi Connect ME!



- Basert på NetSilicons ARM7 nettverks prosessor NS7520
- 10/100 Ethernet interface
- Innebygd web server funksjonalitet
- Integrrert TCP/IP stack
- SSL/TLS kryptering
- WEP/WPA
- Power over Ethernet 802.3AF
- Industrielt temperatur område (-40°C til +85°C)
- Omfattende utviklings- og integrerings miljø uten royalties

HANS H. SCHIVE

www.schive.no
Tlf. +47 66 76 05 00

www.digi.com

Tilbud til Elektronikk's lesere

Messereiser 2005

CeBIT

HANNOVER

CeBit 2005, Hannover 10.-16. mars
Verdenssenter for kontor-, informasjons- og telekommunikasjonsteknikk

Tur 1: Utreise torsdag 10. mars fra Gardermoen med retur lørdag 12. mars.

Tur 2: Utreise lørdag 12. mars fra Gardermoen med retur mandag 14. mars.

Tur 3: Utreise mandag 14. mars fra Gardermoen med retur onsdag 16. mars.

Priser fra kr. 6.950,-



Hannover Messe, 11.-15. april
Verdens største industrimesse med 7.500 utstillere

Årets fagområder er:

- Interkama
- Fabrikk automasjon
- Industriell programvare og engineering
- Overflatebehandling
- Mikro teknologi
- Underleveranser
- Energi
- Forskning og teknologi
- Verktøy og vedlikeholdsutstyr

Tur 1: Utreise søndag 10. april fra Gardermoen med retur tirsdag 12. april.

Tur 2: Utreise tirsdag 12. april fra Gardermoen med retur fredag 15. april.

Priser fra kr. 6.690,-

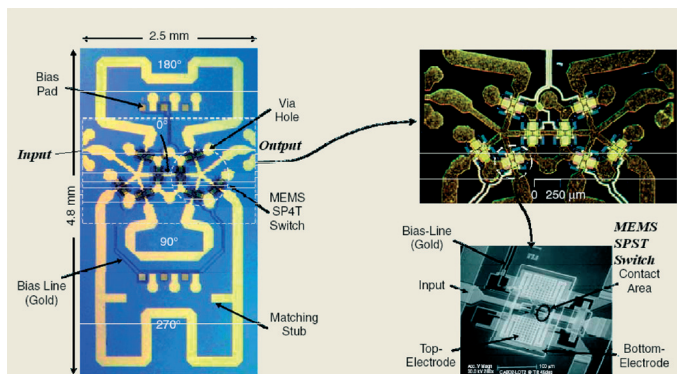
Les mer www.mercur-reiser.no

Vennligst kontakt oss og be om program!



Telefon 38 12 33 80, Telefax 38 12 33 99
post@mercur-reiser.no

komponent



Figur 1. Figuren viser en 1:4 svitsjet RF MEMS faseskifter. Ved hjelp av to SP4T svitsjer kan fasen varieres mellom 0 og 360 grader i step på 90 grader. Hver SP4T svitsj består av 4 SPST (Single-Pole Single-Throw) svitsjer. Kilde: Univ. of Michigan/Rockwell Scientific.

← produksjonskostnader. Faseskiftere kan enten klassifiseres som digitale eller som analoge. Digitale faseskiftere forandrer fasen over et visst område i diskrete step, f.eks. 90, 45 eller 22,5 grader. I analoge faseskiftere kan fasen endres kontinuerlig.

Helt siden 1960-årene er det arbeidet mye med å utvikle effektive faseskiftere for alle slags radar- og kommunikasjonssystemer. Dette kan gjøres på en mengde måter. En metode som er blitt spesielt aktualisert i forbindelse med RF MEMS teknologien er faseskiftere basert på distribuerte transmisjonslinjer, gjerne kalt DMTL (Distributed MEMS Transmission Line). Ved denne metoden koples en rekke RF MEMS komponenter, enten svitsjer eller variable kondensatorer, mellom linjen og jord. På denne måten kan kapasitansen mot jord varieres på en kontrollert måte, noe som igjen gir en mulighet til å styre fasegangen gjennom linjen.

En annen metode som også er meget aktuell for RF MEMS realiseringer er faseskiftere basert på refleksjon. Her varieres avstanden til ulike refleksjonsplan vha. RF MEMS svitsjer. De reflekterte signalene summerer seg konstruktivt til utgangen og faser hverandre ut ved inngangen. På denne måten kan fasen ved utgangen varieres.

Det er også realisert mange RF MEMS faseskiftere basert på 1:N svitsjer. I slike faseskiftere kopler svitsjene signalet mellom ulike seksjoner med ulik fasegang. Det er bare én seksjon som koples inn

pr. fasetting. En lignende type faseskiftere er såkalte svitsjet-linje faseskiftere. Her kombineres flere ulike linjer, gjerne med lengder som er potenser av 2, på en slik måte at ønsket fase-step mellom gitte grenser oppnås. Av andre typer kan kort nevnes faseskiftere basert på belastet linje samt svitsjing mellom ulike nettverk.

Tradisjonelle faseskiftere er enten basert på ferrittmaterialer, PIN dioder eller FET svitsjer. Introduksjonen av RF MEMS har gjort det mulig å forbedre innskuddstapet betydelig, spesielt i frekvensområdet fra 8-100 GHz. Dette åpner blant annet for muligheten til å spare forsterkere i et design og derved effektforbruk.

RF MEMS svitsjene har meget lav kapasitet i av-tilstand, noe som medvirker til at isolasjonen ved høye frekvenser bedres betydelig. I tillegg har RF MEMS faseskiftere betydelig mindre effektforbruk enn andre faseskiftere, spesielt i forhold til faseskiftere basert på ferrittmaterialer og PIN dioder.

Filtere

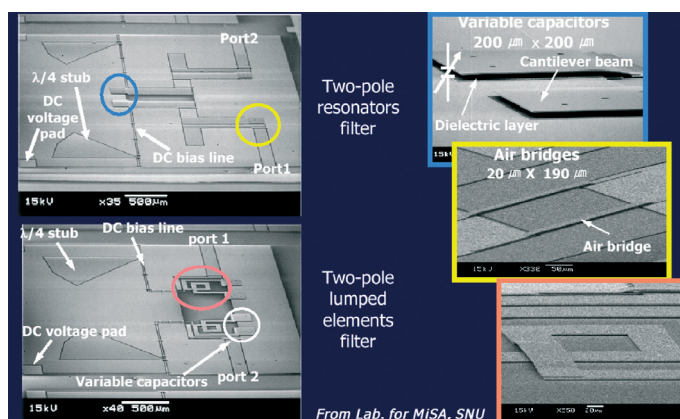
RF MEMS filtre kan deles inn i tre hovedgrupper. Den første gruppen utgjøres av elektromagnetiske filtre. Disse utnytter forskjellige metoder for å oppnå elektromagnetisk resonans. En måte å gjøre dette på er å kombinere etablerte planare prosesseringsmetoder for framstilling av filtre med prosessering av RF MEMS komponenter. Ved f.eks. å kombinere resonante strukturer med RF MEMS variable kondensatorer, kan frekvensen til et

filter justeres. Et eksempel på slike filtre er komplette linjestrukturer. På samme måte som for rene transmisjonslinjer og spoler er det mulig å høyne Q-verdien til et filter ved å fjerne deler av substratet eller et offerlag i nærområdet til de resonerende strukturene. Det er også mulig å designe filtre basert på miniaturiserte hulroms-resonatorer eller kombinasjoner av slike og planare strukturer. Universitetet i Bergen og Nera har nylig startet et forskningssamarbeid hvor fremstilling av høy-Q filtre og anvendelser av filtre og andre RF MEMS komponenter i telekommunikasjonsutstyr skal undersøkes.

Den andre gruppen av RF MEMS filtre er basert på fritt-svingende mikromekaniske resonatorer. Disse utnytter mekaniske svingninger til miniaturiserte svingeelementer for å oppnå resonans. De mekaniske svingeelementene gjøres så små at filteret kan integreres med resten

av kretsen på en enkelt brikke. Den mest vanlige aktiveringsmetoden er å utnytte elektrostatisk kopling. For å bedre frekvensselektiviteten koples gjerne flere resonatorer sammen mekanisk. Dette øker imidlertid innskuddstapet noe. Denne type filtre har en øvre frekvensbegrensning på noen hundre MHz. Q-verdien til resonatorene kan komme opp mot 8-10000. Dette gjør at slike resonatorer har potensiale til å erstatte krystallosillatorer i en del sammenhenger.

Den siste gruppen av RF MEMS filtre utgjøres av mikromekaniske filtre som utnytter andre typer akustisk resonans. Den mest kjente av disse er kanskje SAW (Surface Acoustic Waves) filtre, som jo i dag er en vel etablert teknologi. Slike filtre har imidlertid relativt høyt innskuddstap. Andre akustiske filtre er BAW (Bulk Acoustic Waves) filtre med undergruppen FBAR



Figur 2. Prosessering av 2-pol filtre. Øverst til venstre vises et komplett linjefilter og nederst et filter basert på diskrete komponenter. Begge er justerbare ved hjelp av variable RF MEMS kapasitanser, noe som er illustrert øverst til høyre. I midten til høyre vises et eksempel på en brostruktur for framføring av DC, og nederst en brostruktur for å skape en planar spole. Kilde: Lab. for MISA, SNU.

(Film Bulk Acoustic Resonator) filtre. Disse brukes opp mot 10 GHz, men har også potensiale for høyere frekvenser. De har meget skarpe flanker med innskuddstap ned mot 1-2 dB. Aktiveringsprinsippet utnytter piezoelektriske effekter. BAR teknologiene med

undergruppen FBAR har etter hvert nådd en slik modenhetsgrad at de er tatt i kommersiell bruk.

Oscillatorer

I et moderne RF- og mikrobølge kommunikasjonsystem er VCO'en (Voltage-Controlled →

Komplette løsninger

BOPLA

ELEKTRONIKKAPSLINGER

MILTRONIC

MILTRONIC AS • Postboks 25 • 3421 Lierskogen
Tlf. 32 22 66 10 • Fax 32 22 65 56
info@miltronic.no • www.miltronic.no

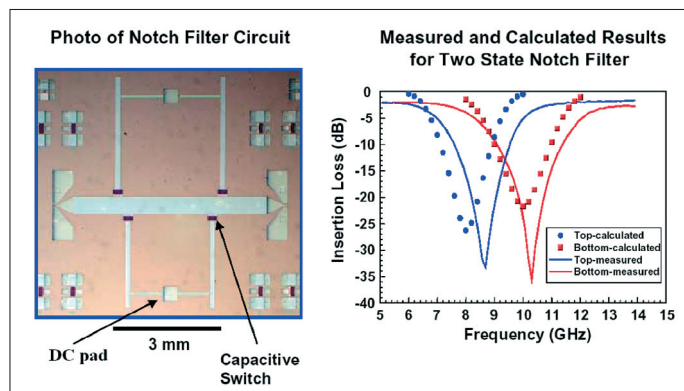
Laird
TECHNOLOGIES®

Vi er ene-distributør for verdens ledende EMC produsent i Norge!

Ta kontakt for tilbud og prøver.

NOTRON

Ulvneveien 125 D, 0665 Oslo
Tlf.: +47 22 97 07 93 • Faks: +47 22 97 07 91
Email: anne@notron.no • www.notron.no



Figur 3. Realisering av RF MEMS båndstoppfilter med to mulige tilstander. Ved hjelp av to par svitsjer, kan stoppbandsfrekvensen enten settes lik 8,7 GHz eller 10,3 GHz.

Oscillator) en sentral komponent. Denne brukes ofte sammen med en faselåst sløyfe og krystalloscillator for å oppnå tilfredsstillende egenskaper. Viktige egenskaper til en VCO er blant annet justerbarhet og lav fasestøy. Fasestøyen bestemmes for en stor del av Q-verdien til den resonerende kretsen. Denne inneholder i prinsipp både en variabel kondensator og en spole. Disse må ofte implementeres eksternt fordi det er vanskelig å oppnå tilfredsstillende Q-verdi hvis de skal prosesseres på samme chip som resten av kretsen. Spesielt er spolens Q-faktor begrensende, men også den variable kondensatorens egenskaper spiller en sentral rolle.

I de siste par år er det realisert en mengde oscillatorer med RF MEMS variable kondensatorer på samme chip som resten av kretsen. Dette har klare og åpenbare fabrikkasjonsmessige fordeler framfor å realisere den

variable kondensatoren eksternt. I tillegg er både justerbarhet og fasestøy tilfredsstillende.

Vanligvis realiseres variable kondensatorer som p-n overganger. Disse har begrensninger med hensyn til spenningsutsving, noe som reduserer oppnåelig signal-støy forhold. RF MEMS variable kondensatorer tåler større spenningsutsving enn variable kondensatorer basert på p-n overganger, noe som i seg selv bedrer fasestøyen. RF MEMS variable kondensatorer reagerer lite på frekvenser som ligger over deres mekaniske resonans. De vil derfor nesten ikke produsere kapasitive variasjoner på høye frekvenser. Dette reduserer harmonisk forvrengning både for bruk i oscillatorer og andre sammenhenger.

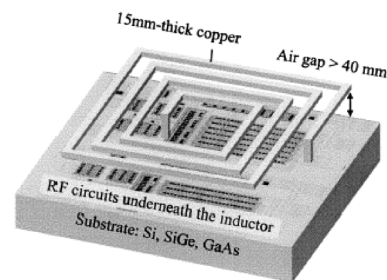
I nedre del av mikrobølgeområdet har Q-verdien til planare spoler prosessert med standard silisiumprosesser en øvre grense på 10-12. Dette er alt for lite til å

oppnå tilfredsstillende egenskaper med hensyn til fasestøy, og den frekvensbestemmende induktive delen av resonanskretsen må derfor realiseres på annen måte. RF MEMS teknologien åpner imidlertid for at man i mange tilfeller kan prosessere spolen på samme substrat som resten av kretsen. Den kan da enten prosesseres som en sole-noide delvis frittliggende i inert gass eller vakuum, eller som en planar spole med substratet eller et offerlag fjernet i nærområdet. Grensen for oppnåelig Q-verdi kan da heves til minst 40-50.

Forsterkere, mikserer og attenuatorer

Praktisk talt alle typer elektroniske kretser er bygd opp av enten spoler, kondensatorer eller svitsjer i tillegg til aktive komponenter. RF MEMS komponenter framstilles ved å benytte lav-temperatur prosesser, og har derfor potensiale til å være kompatible med standard CMOS-, SiGe- og GaAs-prosesser. På grunn av disse forhold kan nesten enhver type elektronisk krets dra nytte av RF MEMS teknologien.

I tillegg til de kretstypene som allerede er nevnt, er det også demonstrert integrasjon av RF MEMS komponenter i forsterkerkretser. Som et eksempel på dette kan nevnes en GaAs forsterker utviklet av Rockwell Scientific, USA. I denne forsterkeren benyttes to RF MEMS svitsjer til å svitsje mellom forsterkergrener med ulike egenskaper. På denne



Figur 4. Integrert CMOS VCO med frittstående planar spole. RF-kretsene er prosessert under spolen, noe som reduserer bruken av areal. Kilde: IEEE MTT, s. 291, jan. 2003.

måten økes virkningsgraden for flere nivåer av inngangseffekten. I tillegg kan prinsippet med svitsjing mellom forsterkergrener også benyttes til å øke lineariteten.

RF MEMS komponenter kan også anvendes i mikserer og digitale eller analoge attenuatorer. I mikserer er det spesielt filterseksjonene som kan dra nytte av teknologien. Her er det mulig å forbedre både Q-verdi og innskuddstap. Dette vil igjen øke konversjonsforsterkningen og redusere spuriøse komponenter. I digitale attenuatorer kan man svitsje mellom ulike dempeksjoner ved hjelp av RF MEMS svitsjer, mens man i analoge attenuatorer kan utnytte RF MEMS variable kondensatorer.

For videre studier:

- [1] V. K. Varadan, K. Vinoy, K. Jose: «RF MEMS and their Applications», ISBN 0-470-84308-X, J. Wiley & Sons, 2003.
- [2] G. M. Rebeiz: «RF MEMS Theory, Design, and Technology», ISBN 0-471-20169-3, J. Wiley & Sons, 2003.
- [3] I. Bahl, P. Bhartia: «Microwave Solid State Circuit Design», ISBN 0-471-20755-1, J. Wiley & Sons, 2003.

Prøving og sertifisering av elektrisk utstyr EMC - Miljø - Elektrisk sikkerhet - ATEX(Ex)

Akkreditert prøving, samsvarsvurdering for CE-merking,
EMC-rådgivning, prøving av alarmutstyr, produktsertifisering

Sammensatt fagmiljø



Veiledning i EU direktivene

DET NORSKE VERITAS

Det Norske Veritas Certification AS

Avdeling for prøving, produkt- og personellsertifisering 1322 Høvik, Tlf. direkte: 67 57 76 90 / 67 57 97 57, Fax: 67 57 99 11