

Radiometro integrato al silicio per la prevenzione di incendi boschivi



A. Fonte, B. Neri

Radio-Frequency & Microwave Integrated Circuits Laboratory
Università di Pisa

A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Sommario

- Introduzione alla radiometria a microonde
- Studio di fattibilità di un radiometro a 13 GHz integrato su silicio per la prevenzione di incendi boschivi
 - Specifiche di sistema
 - Specifiche dei singoli blocchi
- Progetto e caratterizzazione sperimentale dei blocchi principali
 - Switch d'antenna basato sul Boot-Strapped Inductor (BSI)
 - Low Noise Amplifier (LNA) a 13 GHz
 - Oscillatore controllato in tensione (VCO) a 13 GHz
- Conclusioni

A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Monitoraggio ambientale e radiometria

Il monitoraggio ambientale tramite l'uso di radiometri a microonde permette:

- la localizzazione e la previsione a breve termine di fenomeni meteorologici a forte impatto ambientale
- il monitoraggio remoto di eventi che possono produrre un grave danno alla natura o agli esseri umani

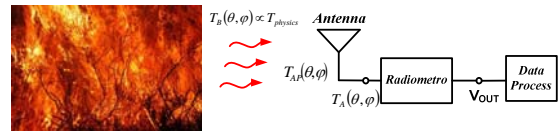


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Radiometro a microonde

- Tale sensore è un ricevitore estremamente sensibile capace di rilevare la radiazione elettromagnetica di corpo nero emessa da un qualunque oggetto con temperatura maggiore di 0° Kelvin
- La rilevazione di tale segnale permette di risalire alla temperatura fisica dell'oggetto sotto osservazione

$$\text{Energy collected by the antenna} = f(T_{\text{physical}})$$



A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Radiometro a 13 GHz integrato su silicio

- Attualmente I radiometri sono dispositivi pesanti e ingombranti per cui il loro campo di utilizzo è relegato a poche specifiche applicazioni
- Le moderne tecnologie standard al silicio (es. CMOS 90 nm) possono permettere la realizzazione di un radiometro integrato su silicio a basso costo



Ku-band microwave radiometer
(<http://www.die.uniroma1.it>)



MP-3000 Microwave Profiler
Hyper-Spectral Radiometer by
Radiometrics Corporation
(www.radiometrics.com)

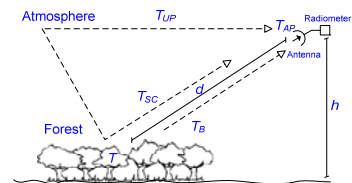


New Ku-band SoC
microwave radiometer!

A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Radiometro a 13 GHz: Specifiche di sistema

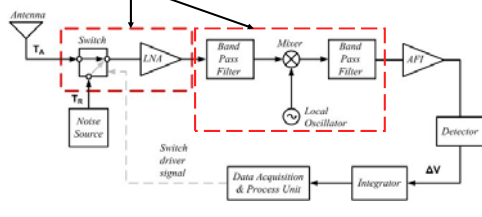
- Banda = 100 MHz (12.95 - 13.05 GHz)
- Temperatura della zona sotto osservazione (foresta) = -50 – 850 °C
- Temperatura equivalente di rumore = 55 – 152 K
- Sensibilità radiometrica = 0.2°
- Distanza dell'antenna dalla zona sotto osservazione = 200 m
- Cifra di rumore totale del ricevitore = 4.85 dB



A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Radiometro a 13 GHz: Progetto dei blocchi principali

Blocchi progettati presso l'Università di Pisa



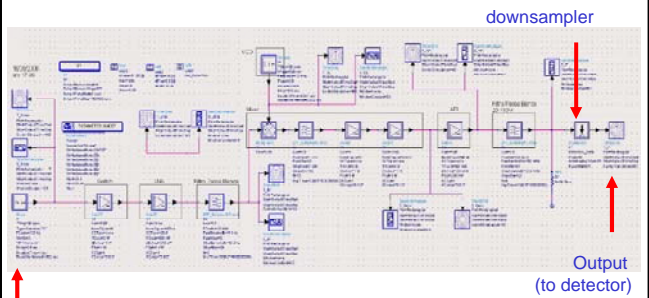
- Frequenza operativa: 13GHz
- Tecnologia: CMOS 90nm by STM
- Tensione di alimentazione: 1.2 V

	Cifra di Rumore	Guadagno
Switch	$NF_{switch} \leq 1 \text{ dB}$	
LNA	$NF_{LNA} \leq 3 \text{ dB}$	$G_{LNA} \geq 20 \text{ dB}$
Mixer	$NF_{mixer} \leq 15 \text{ dB}$	$G_{mixer} \geq 4 \text{ dB}$
AFI	$NF_{AFI} \leq 10 \text{ dB}$	$G_{AFI} \geq 35 \text{ dB}$

A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Radiometro a 13 GHz: Analisi di sistema (1/3)

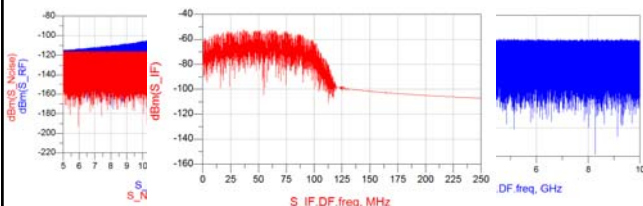
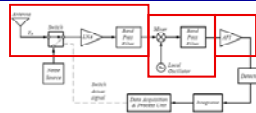
- Diagramma a blocchi realizzato in ADS:



A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Radiometro a 13 GHz: Analisi di sistema (2/3)

- Spettro della potenza di rumore in ingresso (rosso) e della potenza in uscita al LNA (blu)
- Spettro della potenza in uscita al mixer
- Spettro della potenza in uscita al AFI

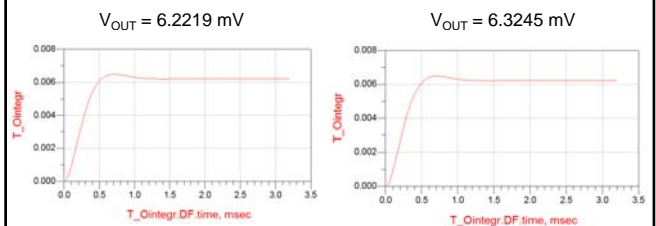


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Radiometro a 13 GHz: Analisi di sistema (3/3)

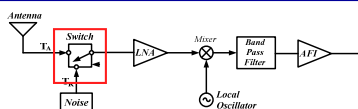
- Tensione in uscita all'integratore:

- > $T_A = 273.14 \text{ K (min)}$
- > $T_A = 284.9 \text{ K (max)}$
- > Tempo di integrazione = 1 ms
- > Tstep = 2 ns

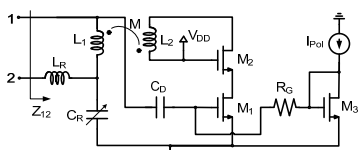


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Switch d'antenna (1/5)



- Boot-Strapped Inductor (BSI) a 13 GHz
- Induttore attivo tunabile con alto fattore di merito



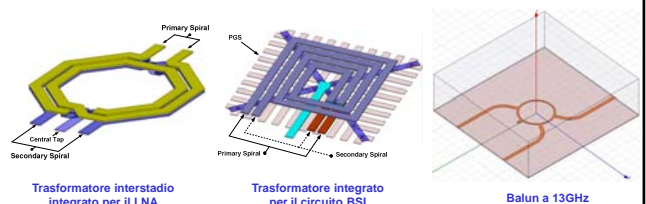
- Tecnologia utilizzata: CMOS 90nm ST-microelectronics

A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Progetto delle strutture passive (1/2)

- Attraverso l'utilizzo di simulatori elettromagnetici 3D e 2D $\frac{1}{2}$ (Momentum by Agilent Technologies and HFSS by Ansoft) si sono progettati:

- Gli induttori ed i trasformatori integrati per il LNA ed il BSI
- Le schede di test e i balun

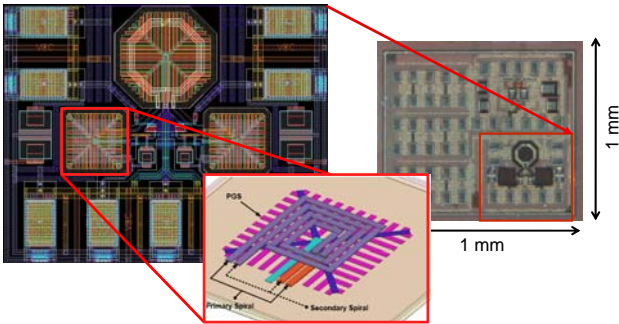


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Switch d'antenna (2/5)

Layout (in CADENCE)

Microfotografia

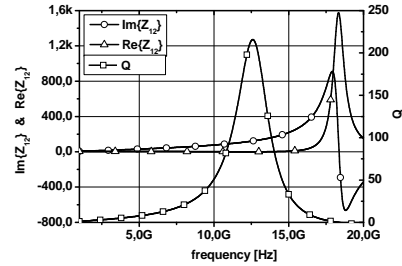


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Switch d'antenna (3/5)

Risultati simulazioni post-layout

- Parte reale ed immaginaria di Z_{12} , e fattore di qualità dell'induttore attivo Q

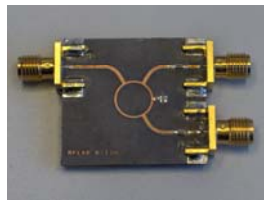
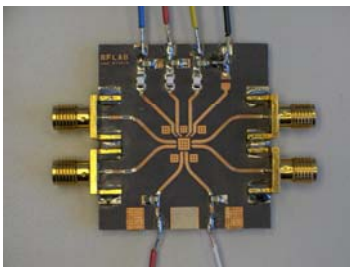


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Progetto delle strutture passive (2/2)

Scheda di test

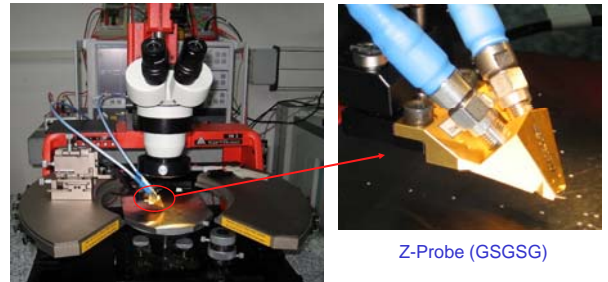
Balun a 13GHz



A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Switch d'antenna (4/5)

Set-up di misura

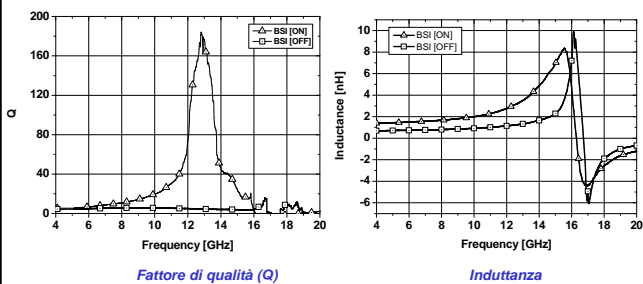


Z-Probe (GSGSG)

A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Switch d'antenna (5/5)

Misura del fattore di qualità (Q) e induttanza

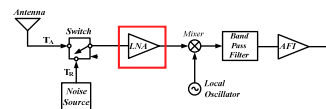


Fattore di qualità (Q)

Induttanza

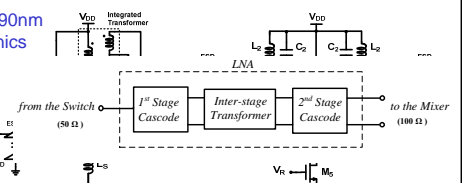
A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Low Noise Amplifier a 13 GHz (1/8)



Amplificatore a bassa cifra di rumore a due stadi accoppiati tramite un trasformatore integrato

- Tecnologia CMOS 90nm di ST-Microelectronics
- Tensione = 1.1 V
- PC = 17.38 mW



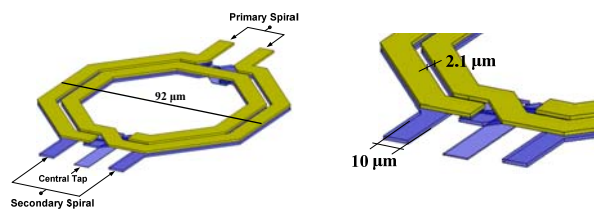
A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Trasformatore integrato interstadio (1/2)

Il trasformatore interstadio integrato è stato progettato in modo da fornire il massimo trasferimento di potenza dal primo al secondo stadio del LNA

Simulatore elettromagnetico 3D (Ansoft HFSS)

$d_{out} = 92 \mu\text{m}$; $W = 10 \mu\text{m}$; Spacing = $2.1 \mu\text{m}$

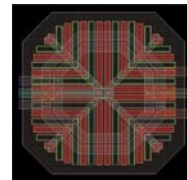
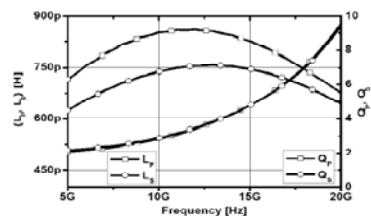


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Trasformatore integrato interstadio (2/2)

Parametri caratteristici @ 13 GHz:

- LP = LS = 590 pF
- QP = 9
- QS = 7
- k = 0.83



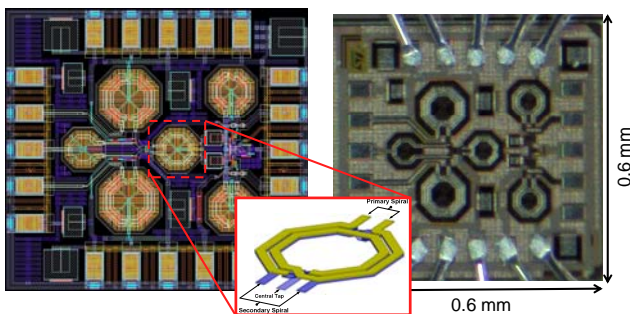
Layout

A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Low Noise Amplifier a 13 GHz (3/8)

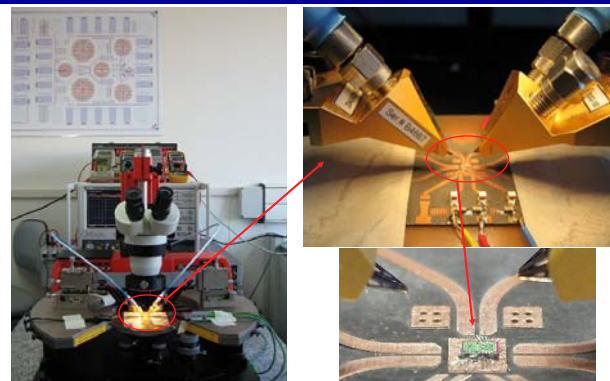
Layout

Microfotografia



A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Low Noise Amplifier a 13 GHz (4/8)



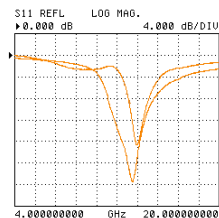
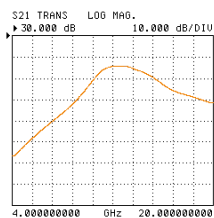
A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Low Noise Amplifier a 13 GHz (5/8)

Misura dei parametri S

Gain [dB]

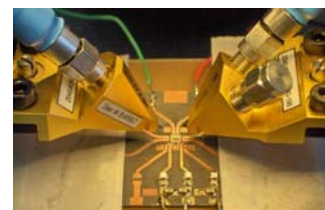
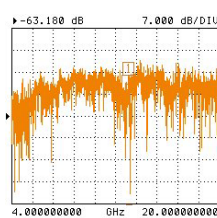
Input and output matching [dB]



A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Low Noise Amplifier a 13 GHz (6/8)

Isolamento tra ingresso e uscita (IN-OUT Isolation)

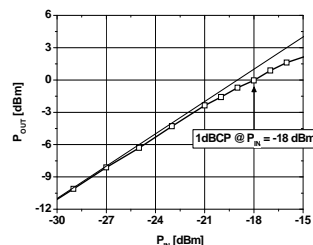
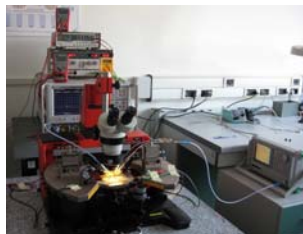


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Low Noise Amplifier a 13 GHz (7/8)

Misura della linearità

Set-up di misura

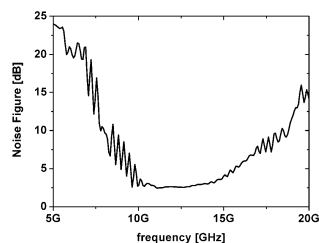


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Low Noise Amplifier a 13 GHz (8/8)

Cifra di rumore (NF) and cifra di rumore minima (NFmin)

NF = 2 dB @ 13 GHz



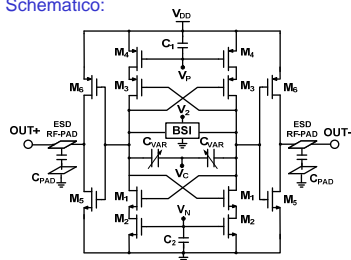
A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Oscillatore controllato in tensione – VCO (1/2)

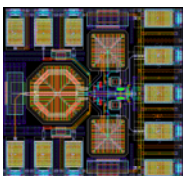
LC-VCO a 13 GHz:

- ❖ Tecnologia CMOS 90nm di STmicroelectronics
- ❖ Alimentazione = 1.2 V
- ❖ Consumo di potenza (core) = ~1 mW

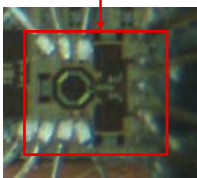
Schematico:



Layout:



Chip:

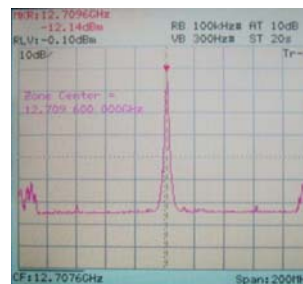


A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Oscillatore controllato in tensione – VCO (2/2)

Risultati delle misure:

- Tuning Range: ~ 250 MHz (12.505 – 12.758 GHz)
- Rumore di fase: ~ -110 dBc/Hz @ 1 MHz



A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa

Conclusioni

- ❑ Lo studio di fattibilità di un radiometro integrato su silicio a 13GHz è stato effettuato utilizzando il simulatore Ptolemy incluso in ADS
- ❑ Sono state calcolate le specifiche dell'intero sistema e dei singoli blocchi
- ❑ La tecnologia utilizzata è la CMOS 90nm di ST-Microelectronics
- ❑ Sono stati progettati (utilizzando CADENCE) e misurati il BSI, elemento chiave dello switch d'antenna, il Low Noise Amplifier a 13 GHz, e l'oscillatore controllato in tensione a 13 GHz
- ❑ Le strutture passive (induttori, trasformatori, pad-RF) sono stati progettati utilizzando un simulatore elettromagnetico 3D (HFSS di Ansoft)
- ❑ Le schede di test ed i balun a 13 GHz sono stati progettati utilizzando un simulatore elettromagnetico 2D½ e realizzati su substrato Roger RT5870
- ❑ I risultati delle misure si sono rivelati in perfetto accordo con quelli ottenuti dalle simulazioni post-layout

A. Fonte, 19 Gennaio 2011 - Pisa