Caratterizzazione e modellistica di dispositivi e amplificatori in GaN per applicazioni di potenza ad alta frequenza

Progetto di Ricerca

Il progetto di ricerca ha come obiettivo lo studio di tecniche di caratterizzazione e modellistica per dispositivi e amplificatori a radiofrequenza realizzati in Nitruro di Gallio (GaN).
Il Nitruro di Gallio è un semiconduttore composito III-V che grazie all'elevato energy bandgap e l'alta mobilità elettronica rende possibile realizzare dispositivi di potenza ad alta frequenza. In particolari, i dispositivi HEMT (high-electron-mobility-transistors) realizzati in GaN, utilizzando particolari stack epitassiali realizzati su substrati in Silicio o Carburo di Silicio, sfruttano le proprietà delle etero-giunzioni per ottenere alte densità di corrente a frequenze operative di svariate decine di GHz.
Grazie alle favorevoli caratteristiche fisiche, tali dispositivi hanno trovato largo impiego nella realizzazione di amplificatori di potenza negli stradi trasmettitori per telecomunicazioni, radar e microwave wireless power transfer.
In tali applicazioni, gli amplificatori devono sia presentare una bassa distorsione (per mantenere la fedeltà di riproduzione dei segnali applicati) che lavorare in condizioni operative ad elevata efficienza (per ridurre il dispendio energetico e la dissipazione termica).
Questi requisiti diventano più stringenti mano a mano che i segnali utilizzati nelle applicazioni presentano range dinamici (quantificati dal peak-to-average-power-ratio o PAPR), bande e frequenze operative più elevate.
Un esempio tipico è quello dei trasmettitori nelle stazioni radio-base per la prossima generazione di comunicazioni mobili (5G). Per garantire le performance richieste dagli standard, gli amplificatori dovranno mantenere alte efficienze operative e basse distorsioni (quantificate dall'error-vector-magnitude EVM), su segnali OFDM con 11dB di PAPR e fino a 1 GHz di banda nel range 24-40 GHz.

Il raggiungimento di questi obiettivi contrastanti da un punto di vista di design elettronico è fortemente dipendente dallo sviluppo di tecniche innovative, come l'utilizzo di pre-distorsione digitale (DPD) e di architetture via via piú avanzate per i trasmettitori (e.g. Doherty, Load-Modulated PA, Supply-Modulated PA). In tal senso, i dispositivi in GaN rappresentano un ingrediente fondamentale per migliorare le prestazioni dei circuiti per le future generazioni delle applicazioni considerate.

Tuttavia, alcune problematiche intrinseche alla tecnologia rimangono parzialmente irrisolte. In particolare, i dispositivi in GaN presentano fenomeni dispersivi a lunga memoria, con costanti di tempo associate che possono variare da nanosecondi a secondi. Questi fenomeni sono principalmente dovuti alla cattura e al rilascio dinamico di portatori di carica in livelli energetici all'interno del bandgap del semiconduttore. Tali livelli sono spazialmente localizzati nei difetti cristallografici (intrinseci o dovuti all'introduzione di specie droganti) e nelle discontinuità alle interfacce tra diversi materiali i utilizzati nello stack epitassiale degli HEMT. Il comportamento dei portatori nelle trappole é fortemente influenzato sia dalle tensioni applicate che dall'autoriscaldamento dinamico dei dispositivi durante le condizioni operative.
A causa di questo comportamento nonlineare-dinamico, la caratterizzazione e la modellistica dei dispositivi in GaN sono tuttora oggetto di un forte interesse di ricerca. È inoltre cruciale poter valutare l'impatto finale degli effetti fisici nei dispositivi sulle caratteristiche e performance dei circuiti per amplificatori a radiofrequenza.

Tale valutazione è necessaria in più step durante il design di un trasmettitore. A livello del singolo dispositivo, le tecniche di wideband load-pull consentono, utilizzando eccitazioni realistiche e simulando diverse condizioni di carico, di caratterizzare e ottimizzare le performance ottenibili prima di realizzare effettivamente il circuito stesso.
A livello dell'amplificatore finale, il comportamento e l'impatto degli effetti dispersivi puó essere efficientemente caratterizzato utilizzando diverse metriche di distorsione a larga banda (in particolare EVM). É possibile inoltre, con tecniche di digital predistortion, ottimizzare i segnali di eccitazione per migliorare il comportamento tra linearità-efficienza e minimizzare l'impatto delle non idealità.

Piano di Attività

Il progetto ha come obiettivo la formazione tecnico/scientifica di un ricercatore nel campo delle metodologie di caratterizzazione e modellistica di dispositivi e amplificatori a radiofrequenza. In tale contesto è fondamentale, per lo sviluppo della ricerca applicata, poter disporre di tecnici/ricercatori particolarmente esperti, in grado di gestire e complementare le potenzialità degli strumenti e delle tecniche di ultima generazione.

A tal fine, il titolare dell'assegno potrà usufruire degli strumenti già disponibili nel laboratorio EDM-Lab e sfruttare la collaborazione di ricerca stabilita con Keysight Technologies, azienda leader nello sviluppo di strumentazione elettronica.
In particolare, verrà utilizzato e ampliato un setup di misura a radiofrequenza (10 MHz-26.5 GHz) basato su un analizzatore di rete (VNA) PNA-X per abilitare la realizzazione di caratterizzazioni di tipo EVM, digital predistortion e wideband-load-pull.
Inoltre, è previsto l'utilizzo di ulteriore hardware per incrementare il range delle caratterizzazioni in un range di bande (>1 GHz) e frequenze (>28 GHz) di interesse per trasmettitori per telecomunicazioni 5G. Le tecniche sviluppate saranno poi utilizzate nella caratterizzazione on-wafer di amplificatori e dispositivi a radiofrequenza in Nitruro di Gallio allo stato dell'arte.

Al fine di fornire tutte le conoscenze necessarie è prevista sia una stretta collaborazione con il tutor e gli altri ricercatori del gruppo che una partecipazione a seminari e congressi anche in ambito nazionale ed internazionale. È inoltre prevista una costante interazione e scambio di know-how con ambienti di ricerca industriale applicata, sia per quanto riguarda lo sviluppo di nuove tecniche di caratterizzazione (Keysight Technologies) che per la fornitura e modellistica di dispositivi in GaN allo stato dell'arte (IMEC, UMS).

Ciò offrirà al titolare dell'assegno l'opportunità di maturare esperienze sia nell'ambito di laboratori di ricerca industriale che accademica, collaborando con un ampio spettro di esperti nel settore.

La ricerca verrà svolta secondo il seguente piano di attività:

- Sviluppo di tecniche di wideband-load-pull su piattaforma VNA
- Sviluppo di tecniche di caratterizzazione di distorsione (EVM) e di digital-predistortion su piattaforma VNA
- Estensione delle tecniche a bande e frequenze di interesse applicativo in ambito 5G
- Caratterizzazione di dispositivi e amplificatori in GaN di diverse tecnologie innovative
- Analisi dei risultati e conclusioni