



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# **Equivalent Circuit Modelling of Electrical Crosstalk in Photonic Integrated Circuits**

**Facoltà di Ingegneria dell'Informazione, Informatica e Statistica**  
**Corso di laurea in Ingegneria Elettronica**

**Candidato**  
**Giordano Mariani**  
**Matricola 1547592**

**Relatore**  
**Antonio d'Alessandro**

**Relatore esterno**  
**Dr. Weiming Yao**

**A/A 2016/2017**

# *Abstract*

The problem of electrical crosstalk is one of the key elements in the path of increasing the density of components in photonic integrated circuits (PICs). The interference between microwave signals can set a limit to scaling, preventing the development of smaller and closer modulator or RF lines. For these reasons, an analysis of substrate crosstalk and radiative crosstalk between RF components is needed, together with a simple model that can help future designers to give an estimation of the amount of interference that can occur when two guided modes are propagating on the same chip at close distance. This thesis aims at developing an equivalent circuit model that can predict electrical crosstalk in photonic integrated circuits, specifically between Mach-Zehnder modulators (MZMs). In the first two chapters a brief description is given about the world of PICs and how they are developed in the COBRA generic platform at TU/e. In particular, the cross-section of the basic devices will be outlined. In the third chapter the basic principle of an MZM is described together with an analysis of the equivalent circuit model already developed by the COBRA research group in TU/e. Measurements on two different PICs and simulations with the ADS software to reproduce the measured scattering parameters will be carried out in order to confirm the validity of the equivalent circuit model. Results show a good agreement between measurements and simulations in both devices. Next, after giving a short theoretical description of radiative and substrate crosstalk other measurements on different sets of PICs will be described in order to get an estimation of the behaviour of both phenomena. For the substrate crosstalk, the transmission parameter on different sets of RF pads will be measured and an equivalent circuit model will be designed from the structure of the pads. After giving an initial estimation of the equivalent circuit values, simulations will be described; a good fit between measurements and simulations is found, with the possibility to give an estimation of the worst case crosstalk. Next, on a different PIC, measurements of crosstalk between close MZMs are performed and a description of an equivalent circuit is given that can reproduce the measurement results. A good estimation of the crosstalk will be found, indicating that the same model can be used to give estimation of different levels of interference. Indeed, thanks to the designed equivalent circuit an electro-optical analysis for different levels of crosstalk is given, showing how the interference degrades the optical modulation performance.

## *Sommario (in Italian)*

Il problema del crosstalk elettrico è uno problemi più rilevanti nel percorso che porta all'aumento della densità dei componenti nei circuiti integrati fotonici (PICs). L'interferenza tra i segnali a microonde può imporre un limite, impedendo lo sviluppo di modulatori linee RF sempre più piccole e vicine tra loro. Per questi motivi è necessaria un'analisi degli effetti del substrato e dell'interferenza elettromagnetica tra componenti che lavorano a radiofrequenze, insieme a un modello che possa aiutare i futuri progettisti a fornire una stima delle interferenze che possono verificarsi quando due modi guidati propagano nello stesso chip a distanza ravvicinata . Questa tesi mira a sviluppare un modello di circuito equivalente in grado di prevedere il crosstalk elettrico nei circuiti integrati fotonici, in particolare tra i modulatori Mach-Zehnder (MZM). Nei primi due capitoli viene fornita una breve descrizione del mondo dei PIC e di come sono realizzati nella piattaforma generica COBRA sviluppata alla TU/e. In particolare, verrà illustrata la sezione trasversale dei dispositivi di base. Nel terzo capitolo verrà descritto il principio di lavoro di un MZM insieme ad un'analisi del modello di circuito equivalente già sviluppato dal gruppo di ricerca COBRA alla TU / e. Verranno mostrate le misure su due diversi PIC e le simulazioni effettuate con il software ADS per riprodurre i parametri di scattering misurati, al fine di confermare la validità del modello di circuito equivalente. I risultati mostrano un buon accordo tra misurazioni e simulazioni in entrambi i PIC. Successivamente, dopo aver fornito una breve descrizione teorica del crosstalk radiativo e degli effetti del substrato, verranno descritte altre misure su diversi PIC al fine di ottenere una stima del comportamento di entrambi i fenomeni. Per il crosstalk del substrato, verrà misurato il parametro di trasmissione  $S_{21}$  su diversi set di pad RF e verrà progettato un modello di circuito equivalente partendo dalla struttura dei pad. Dopo aver dato una stima iniziale dei valori del circuito equivalente, verranno descritte le simulazioni; si è trovata una buona corrispondenza tra misure e simulazioni, con la possibilità di fornire una stima del crosstalk nel caso peggiore. Successivamente, verranno delineate le misure di crosstalk tra MZM con diverse distanze di separazione, insieme alla descrizione di un circuito equivalente in grado di riprodurre ciò che è stato misurato. Si troverà una buona stima del crosstalk, insieme all'opportunità di utilizzare lo stesso modello per stimare i diversi livelli di interferenza. Infatti, grazie al circuito equivalente progettato verrà fornita un'analisi elettro-ottica per diversi livelli di crosstalk, che mostra come l'interferenza degrada le prestazioni del sistema.