



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica e Informática

NXP Semicondutores

Rafael dos Santos do Nascimento

Campina Grande, PB
Julho de 2019

Rafael dos Santos do Nascimento

NXP Semicondutores

*Relatório de Estágio apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação
em Engenharia Elétrica da Univer-
sidade Federal de Campina Grande,
Campus Campina Grande, como
parte dos requisitos necessários para
a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Telecomunicações

Orientador: Edmar Candeia Gurjão

Campina Grande, PB
Julho de 2019

Rafael dos Santos do Nascimento

NXP Semicondutores

*Relatório de Estágio apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação
em Engenharia Elétrica da Univer-
sidade Federal de Campina Grande,
Campus Campina Grande, como
parte dos requisitos necessários para
a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.*

Aprovado em 04/07/2019

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Edmar Candeia Gurjão

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

Dedico ao meu querido avô Manoel.

Agradecimentos

Gratidão primeiramente a Deus por ter me conduzido durante toda minha trajetória até aqui. À minha mãe por ter me guiado, me orientado e me apoiado em todas as etapas da minha vida pessoal e acadêmica. Agradeço à minha noiva, Carolina Pedrosa, por ter sido inúmeras vezes companheira de estudos e também incentivadora do meu sucesso, nunca permitindo que eu me abalasse diante as dificuldades encontradas. Agradeço aos meus amigos de curso por terem sido meu suporte para as disciplinas desafiadoras e terem participado dos momentos bons e também os difíceis dessa graduação.. Agradeço também a equipe administrativa do DEE, aos professores, e os membros do laboratório de Radiometria.

“A persistência é o caminho do êxito“ - Charles Chaplin

Resumo

O estudo de um dispositivo de radar aplicado a veículos com operação em altas frequências contribui para a evolução dos sistemas de carros autônomos e representa a evolução da forma de comunicação entre os diferentes sensores e acionadores de um veículo. Essa evolução caminha desde a integração de um sistema radar, diversificação de sensores dentro de um automóvel e, para um futuro próximo, os carros autônomos. O trabalho realizado durante o período de estágio foi contribuir com a equipe de teste da NXP Semicondutores na realização de testes de um chip Radar que trabalha entre 76 e 81 GHz, com diversas aplicações a curta, média e longa distância. As tarefas realizadas, bem como os resultados e problemas encontrados serão apresentados nesse relatório.

Palavras chave: Micro-ondas, Microeletrônica, radiofrequência, Engenharia de teste, simulações eletromagnéticas, Advantest 93K

Abstract

The study of a radar dispositive applied to vehicles that works at high frequency contributes to the evolution of autonomous car systems and represents an evolution in the way of the communication between different sensors in a car. The evolution has started with the integration from a lot of radar systems, after that it begins the diversification from the sensors and, in a near future, the autonomous vehicles. The objective of the internship was to work with the test team in NXP and deal with a chip radar that works in a frequency domain between 76 and 81 GHz. In this report, all tasks, results and problems will be described.

Keywords: Microwave, Microelectronics, Radiofrequency, Test Radar, Advantest 93K, Electromagnetic Simulations

Lista de Figuras

1	NXP Semicondutores na França	14
2	Aplicações do transceptor <i>Eagle</i>	16
3	Ambiente de testes na NXP Semicondutores	17
4	Equipamento de testes automático	18
5	Caixa FMTA	19
6	Esquema da placa PHEB	19
7	Probe P8-XL	20
8	Conexões dos cabos entre a caixa FMTA e a placa PHEB no Probe	21
9	Procedimento de alinhamento automático das peças dentro do Probe	21
10	Tela principal de configuração do Probeur	22
11	Diagrama de blocos dos caminhos Rx e Tx	24
12	Estrutura do caminho Rx	25
13	Estrutura do caminho Tx	26
14	Placa filha	27
15	Placa de alimentação	27
16	Placa Xcerra de conexão	28
17	Estrutura da caixa FMTA	28
18	Vista interna da caixa FMTA - conexões	30
19	Possível solução para reduzir os custos dos testes	32
20	Solução C300	33
21	Solução C400	34
22	Teste de continuidade efetuado para validação da solução Paricon	37
23	Guia de onda WR-12 PASTERNAK	39
24	Linha de transmissão e antenas planares para a simulação	40
25	Linha de transmissão e antenas planares para a simulação	40
26	Modelagem 2D da peça conecto	41
27	Visão 3D da estrutura	42
28	Resultados: Parâmetros S(parâmetros de espalhamento)	42

Lista de Tabelas

1	Cronograma proposto	15
2	Características da solução C300	34
3	Características da solução C400	34

Lista de Abreviaturas e Siglas

ASIC Aplicação específica de circuito integrado

ATE *Advanced Test Environment* - Ambiente de testes avançados

DUT Dispositivo sob testes

ESISAR *École nationale supérieure d'ingénieurs des systèmes avancés et réseaux* - Escola Nacional superior de engenheiros de sistemas embarcados

FMTA *Freescale Millimeter Test Application*

OpenCV Open Source Computer Vision Library

PCB Placa de circuito impresso

PE Engenharia de produtos

PTE *Phoenix Test arrays soluções*

Rx Antena de recepção

TE Engenharia de testes

Tx Antena de transmissão

UFMG Universidade Federal de Campina Grande

WLCSP *Wafer Level Chip Scale Package* - Empacotamento do chip no nível do biscoito

WR *Rectangular waveguide* - Guia de onda retangular

Sumário

1	Introdução	13
1.1	NXP Semicondutores	13
1.2	Objetivos	14
1.3	Cronograma proposto	15
2	Revisão Bibliográfica	15
2.1	Apresentação do projeto <i>Eagle</i>	15
2.2	Descrição do ambiente de testes	16
2.3	Programa de testes	16
2.4	Equipamento de testes automáticos - ATE	17
2.4.1	FMTA - <i>Freescale Millimeter Test Application</i>	18
2.5	Placa PHEB	18
2.5.1	Probe P8-XL	20
3	Atividades Realizadas	22
3.1	Duplicação da caixa FMTA	23
3.1.1	Guias de onda - Caminhos Rx e Tx	23
3.1.2	Placas eletrônicas	25
3.1.3	Estrutura física da caixa	28
3.1.4	Compra das peças	28
3.1.5	Construção da caixa	29
3.1.6	Testes para validação do instrumento	29
3.1.7	Problemas encontrados	31
3.2	<i>Probe on balls</i> de baixo custo	32
3.2.1	Contexto da solução	32
3.2.2	Opções de fornecedores das membranas conectoras	33
3.3	Simulações de uma transição entre PCB e guia de ondas	37
3.3.1	Introdução	37
3.3.2	Teoria	38
3.3.3	Metodologia	38
3.3.4	Simulações	39
3.3.5	Resultados	40
4	Conhecimentos e competências técnicas e práticas obtidas no estágio na NXP Semicondutores	42
5	Conclusão	44

1 Introdução

Esse relatório de estágio supervisionado tem por objetivo expor as tarefas realizadas e os resultados obtidos durante o seu período de vigência, que compreende do dia 05/02/2018 até 03/08/2018, totalizando 910 horas (6 créditos, mínimo 180 horas), dispostos em 35 horas semanais, durante o período de mobilidade estudantil internacional, através do programa BRAFITEC, na École nationale supérieure d'ingénieurs des systèmes avancés et réseaux (Grenoble INP - ESISAR) sob a orientação do professor Pierre LEMAÎTRE-AUGER. O estágio faz parte da grade curricular obrigatória do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande e de suma importância para a formação profissional, pois consolida na prática os conhecimentos teóricos adquiridos durante o curso de graduação.

1.1 NXP Semicondutores

A empresa NXP Semicondutores é um fabricante de semicondutores e líder mundial desde 2007 no âmbito de sistemas de radar para automóveis. A empresa surgiu de uma divisão de semicondutores da Philips. Atualmente a NXP é uma das vinte maiores empresas mundiais em termos de vendas nesse domínio, está presente em 33 países, possui mais de 31 mil funcionários e é avaliada por mais de 9.5 bilhões de euros (2016).

No que diz respeito a França, NXP possui diversas instalações com diferentes competências (R&D, suporte, gestão) e equipes responsáveis por projetos europeus e mundiais nas diversas áreas. As quatro filiais presentes na França estão especificadas na Figura 1. Primeiramente, Caen (292 funcionários) atua no domínio de microcontroladores, antenas inteligentes e comunicações em campo próximo. Da mesma forma em Sophia Antipolis (162 funcionários) que trabalham na mesma área que Caen e ainda desenvolvimento de sinais UWB, áudio, etc. Em Paris (57), a atuação é na parte de vendas e marketing.

Há 50 anos, a sede da NXP em Toulouse (455 funcionários) participa de diversas atividades mundiais do grupo. Esse local dispõe de uma experiência mundial no que respeito à concepção de circuitos integrados analógicos de potência, bem como na produção de circuitos integrados RF.



Figura 1: NXP Semicondutores na França

Fonte: **NXP Semicondutores**

Dentro de um ambiente em constante mudanças, a NXP Semicondutores busca a evolução tecnológica e estratégica, através da pesquisa soluções. Além disso, o centro de desenvolvimento da divisão de Automóveis situado em Toulouse se posiciona como um centro de excelência de produção chips para veículos da NXP.

A missão da NXP é oferecer conexões seguras e soluções para facilitar a vida humana, aperfeiçoando o mundo inteligente do futuro. Como trata-se de uma líder mundial, a NXP está a frente na inovação dos sistemas de veículos conectados e propõe soluções em segurança, proteção de dados e de conexões inteligentes.

1.2 Objetivos

Para o centro de excelência em pesquisa e desenvolvimento da NXP Semicondutores, situado em Toulouse, cujo objetivo de atuação são produtos para automóveis, as equipes de Engenharia de Produto e Testes são responsáveis pela liderança e execução de diversas atividades e produtos. Os objetivos gerais do estágio estão listados a seguir:

- Atuação nas atividades realizadas pelos engenheiros de teste para validação de produtos;
- Desenvolvimento de métodos de testes para o aparelho de testes Advantes 93K;
- Duplicação de um setup FMTA, desenvolvido na NXP;

- Execução de um plano de qualificação de membranas conectoras, objetivando a redução de custos na produção de um chip Radar ASIC;
- Estudo e simulações eletromagnéticas de uma transição entre uma placa PCB e um guia de onda, à 80GHz.

1.3 Cronograma proposto

Para direcionar o trabalho proposto um cronograma a ser seguido com os principais objetivos, citados anteriormente, foi proposto. A tabela 1 indica as tarefas a serem realizadas e o período proposto, lembrando-se que o estágio ocorreu entre os meses de fevereiro e início de agosto.

Tabela 1: Cronograma proposto

	Data de início	Data de término
Duplicação do setup de teste (FMTA)		
Identificar e comprar os itens	25 fevereiro	25 março
Montar o setup	01 maio	31 maio
Testar o setup	31 maio	15 junho
Validação de uma solução de baixo custo do sistema probe on balls		
Medições no sistema automático de teste (ATE)	31 março	31 julho
Design de uma transição entre um guia de onda e uma linha de transmissão (76 - 81 GHz)		
Documentação (estudo teórico)	31 março	15 maio
Simulação	15 maio	31 julho

2 Revisão Bibliográfica

Com a apresentação da empresa, objetivos e cronograma proposto, esta seção do relatório apresentará os tópicos teóricos e equipamentos importantes e utilizados no decorrer do estágio.

2.1 Apresentação do projeto *Eagle*

Como dito anteriormente, a NXP Semicondutores atua diretamente na produção de diversos produtos e serviços de diferentes características. Na sede em Toulouse, onde o estágio foi realizado, existem equipes que desenvolvem trabalhos diferenciados em eletrônica analógica e digital, compatibilidade eletromagnética, comunicações sem fio, entre outras. O estágio foi realizado na equipe de testes de um produto chamado de **MR3003 Eagle**.

O produto *Eagle* é um transceptor que opera entre 76 e 81 GHz por conta da necessidade de uma alta resolução de utilização do Radar. O produto possui dimensões de 7,7 x 9,2 mm com empacotamento WLCSP (*Wafer Level Chip Scale Package* - empacotamento do chip ainda no nível do *wafer*), 3 canais de comunicação de transmissão Tx (com rotação de fase e alta resolução), 4 canais de recepção Rx e baixíssimo consumo energético. As demais características serão descritas nos próximos tópicos deste relatório.

Por conta da sua alta resolução, o *Eagle* possui aplicações para longas distâncias (controle adaptado de viagem), média distância (frenagem de emergência) e curta distância (funções de radar angular). A figura 2 apresenta as principais aplicações do transceptor em questão.

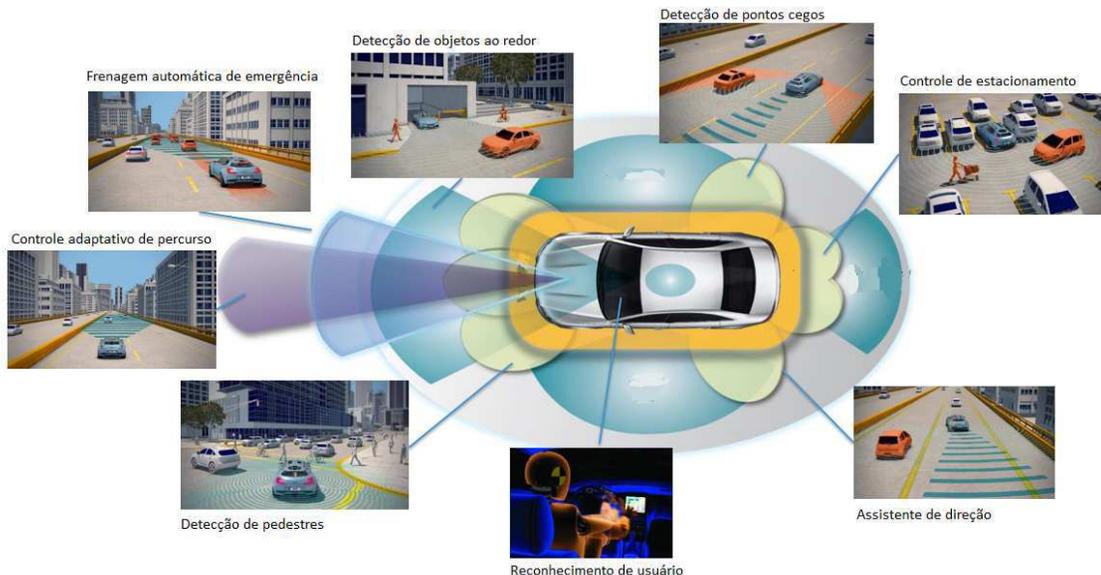


Figura 2: Aplicações do transceptor *Eagle*

Fonte: NXP Semicondutores

2.2 Descrição do ambiente de testes

O estágio foi realizado com a atuação em P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), ou seja, com trabalho em computador com simulações e avaliação dos resultados, além da utilização do laboratório de testes finais, local de atuação da equipe de testes, cujo objetivo principal é avaliar as características e performance do dispositivo em produção (MR3003 *Eagle*).

Para realizar esta tarefa, diversos equipamentos e máquinas foram utilizadas, as quais serão descritas no decorrer dessa parte do relatório. A figura 3 apresenta de uma maneira geral uma das opções para a realização dos testes, através do ATE, caixa FMTA e Probe. Cada elemento, bem como outra opção para realização de testes, serão descritos posteriormente.

2.3 Programa de testes

Com objetivo de realizar a avaliação dos parâmetros do produto, é necessário a utilização de um programa apropriado e desenvolvido para esta tarefa. O programa é descrito em C++, sendo responsável pelo controle de todos os testes realizados pelo aparelho de testes. O software funciona como um fluxo de testes que passará ao seguinte somente se o atual estiver correto, atuando em cascata. A equipe de testes Radar trabalha com uma tabela de limites de parâmetros para avaliar os resultados como potência de transmissão, potência de recepção, energia consumida, temperatura do chip, atuação em cada uma das faixas de frequência, etc.

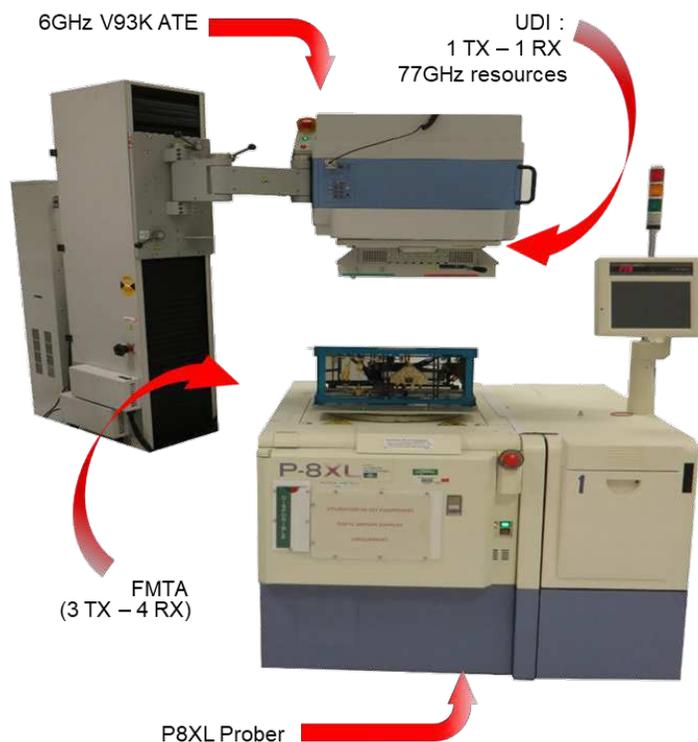


Figura 3: Ambiente de testes na NXP Semicondutores

Fonte: **NXP Semicondutores**

Para exemplificar a funcionalidade do software, podemos descrever os testes de continuidade e em micro-ondas como os mais importantes para a validação inicial do chip. Os testes de continuidade são feitos no começo do programa de teste e são responsáveis pela determinação da conexão entre o chip e o sistema de testes. Além disso, os testes de avaliação do sistema micro-ondas são importantes para avaliar as performances das antenas Rx, Tx, osciladores locais, etc. A descrição dos comandos de testes foi omitida em detrimento do acordo de confidencialidade assinado entre a NXP Semicondutores e o estagiário.

2.4 Equipamento de testes automáticos - ATE

Os instrumentos capazes de realizar os testes dos parâmetros digitais, analógicos e nos níveis de radiofrequência são os dispositivos: Equipamento de Testes Automáticos (*Automatic Test Equipment - ATE*) **Advantest** ® **V93000** e o Dispositivo de Interface Universal para Sinais Milimétricos (*Millimeter Universal Device Interface*), representados na Figura 4.

O aparelho é conectado ao computador para se comunicar diretamente com o programa de testes e permitir a leitura dos parâmetros do produto (M3003 *Eagle*). O objetivo principal da equipe que trabalha com esse chip é realizar os testes sem utilizar recursos na frequência de 77GHz para evitar configurações e equipamentos mais caros, essa é a razão de utilizar o dispositivo de interface universal na comunicação com o produto.



Figura 4: Equipamento de testes automático

Fonte: NXP Semicondutores

2.4.1 FMTA - *Freescale Millimeter Test Application*

O dispositivo responsável para realizar a conexão entre o ATE e o produto sob testes chama-se FMTA, em português, Aparelho para testes milimétricos da Freescale. Lembrando que Freescale foi um ramo da Philips que deu origem a NXP Semicondutores, este dispositivo foi desenvolvido e produzido pela empresa.

Como mencionado na seção anterior, o chip *Eagle* possui 4 canais de antenas RX e 3 canais TX para comunicação, entretanto, o ATE possui um canal de cada. Dessa maneira, a principal função da caixa FMTA é realizar a multiplexação dos sinais de micro ondas, permitindo a comunicação entre o programa de testes e o produto. Ou seja, o chip irá se comunicar através 3 Tx e 4 Rx e a caixa FMTA será responsável por transmitir o sinal para o ATE utilizando 1 Tx e 1 Rx. A figura 6 ilustra a estrutura externa do equipamento em questão.

A importância dessa "caixa" vai além da multiplexação de portas transmissoras e receptoras do aparelho de testes, pois, devido a ela, que a recepção dos parâmetros de medição são efetuadas. Devido a isso, a NXP Semicondutores Toulouse recebeu a solicitação de uma unidade da NXP em Taiwan para que fosse enviada uma caixa idêntica a que possuíamos afim de padronizar os métodos de testes. Essa atividade fez parte de uma importante atuação no período de estágio e que será explicada a seguir: duplicação de uma nova caixa FMTA.

2.5 Placa PHEB

Foram apresentados os equipamentos ATE, UDI e FMTA e agora descreveremos a placa PCB PHEB, também desenvolvida pela NXP Semicondutores.

O objetivo dessa placa é realizar a interface entre a placa filha (item importante dentro da caixa FMTA, que será descrito posteriormente) e o dispositivo sob test (chip *Eagle*). A conexão entre a PHEB e placa filha acontece através dos conectores SAMTEC e cabos coaxiais. Além disso, a placa se comunica com o aparelho de testes (ATE) e envia sinais importantes como o FD1 e

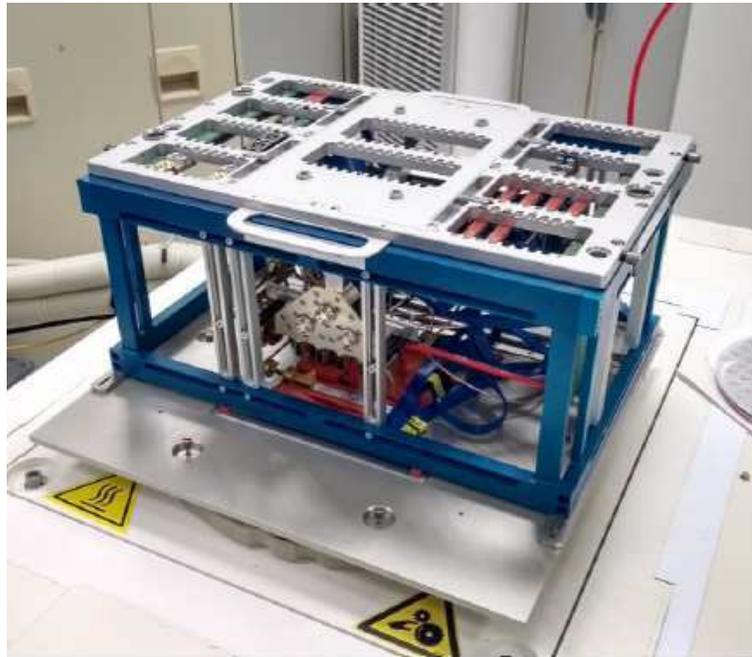


Figura 5: Caixa FMTA

Fonte: **NXP Semicondutores**

XTAL, responsáveis no controle de testes em micro-ondas. Sendo assim, a placa PHEB representa a transição final entre os instrumentos de testes apresentados até então e o chip a ser testado.

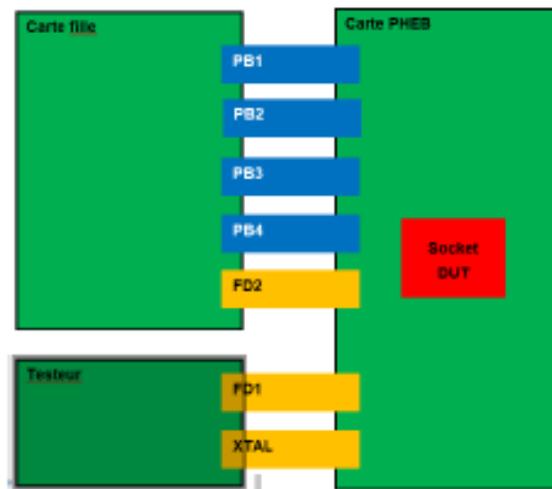


Figura 6: Esquema da placa PHEB

Fonte: **NXP Semicondutores**

2.5.1 Probe P8-XL

No processo de fabricação e testes do *M3003 Eagle* existem duas maneiras para realizar o manuseio dos chips ainda na estrutura de *wafer*. A primeira, mais utilizada para a realização de testes para centenas de produtos, é o uso de um dispositivo chamado *handler*, não iremos abordar esse método aqui. Já a segunda solução que permite efetuar os testes do produto ao nível do *wafer*, de maneira automática ou manual, é o Probe P8-XL indicado na figura 7. Durante o período de estágio, o P8-XL foi utilizado para testar e validar diferentes membranas de conexões entre a placa PHEB e o produto, esse tópico será explorado na próxima seção pois trata-se de uma das atividades principais do estágio.



Figura 7: Probe P8-XL

Fonte: **NXP Semicondutores**

A utilização do Probe P8-XL requer a realização do alinhamento entre a placa PHEB e os contatos de cada chip no nível do *wafer*, visto que o transceptor produzido pela NXP Semicondutores possui a tecnologia WLCSP em que o chip é cortado ainda no nível do *wafer*.

Durante o período de estágio, para realizar a avaliação de diversas membranas de conexão, foi necessário o domínio do processo de alinhamento do *wafer* no probeur. Esse procedimento é realizado com o auxílio da tela presente no próprio P8-XL, configurando parâmetros como distância entre as peças, altura de pressionamento, quantidade de peças, etc. Para facilitar o uso dos próximos usuários, uma apostila foi elaborada pelo estagiário afim de guiar o posicionamento.

As Figuras 8 e 9 ilustram o processo de alocação de conectores e de alinhamento visualizado no display do Probe P8-XL, respectivamente.

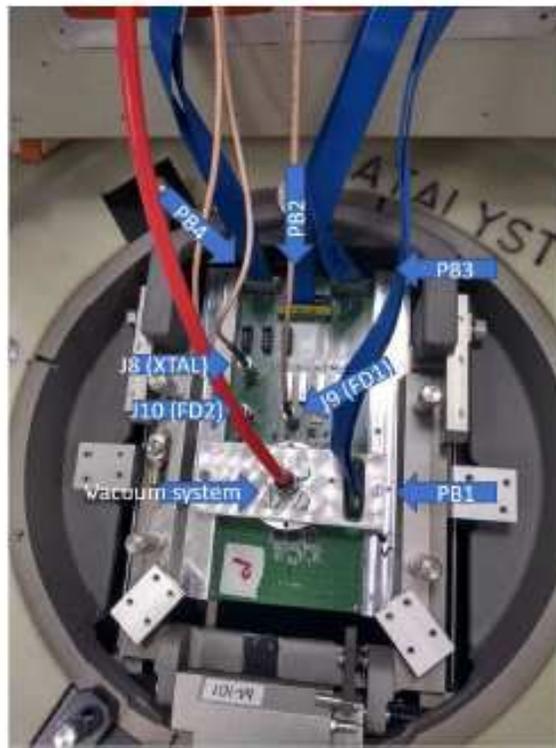


Figura 8: Conexões dos cabos entre a caixa FMTA e a placa PHEB no Probe

Fonte: **Autor**



Figura 9: Procedimento de alinhamento automático das peças dentro do Probe

Fonte: **NXP Semicondutores**

Como dito anteriormente, utilizamos um Probe P8-XL para a realização dos testes chip a chip ao nível do *wafer*. A Figura 10 ilustra a tela principal do aparelho em questão afim de realizar os testes. Pode-se observar na imagem as inúmeras opções de configuração para a realização dos testes. Dentre elas, cabe-se destacar a possibilidade de realizar a conexão/desconexão, realizar a

escolha de qualquer peça (quadrado em amarelo a esquerda) através das setas de seleção, configurar o *overdrive*, que indica a altura do wafer que possibilita aplicar mais ou menos pressão na peça, dentre outras opções.

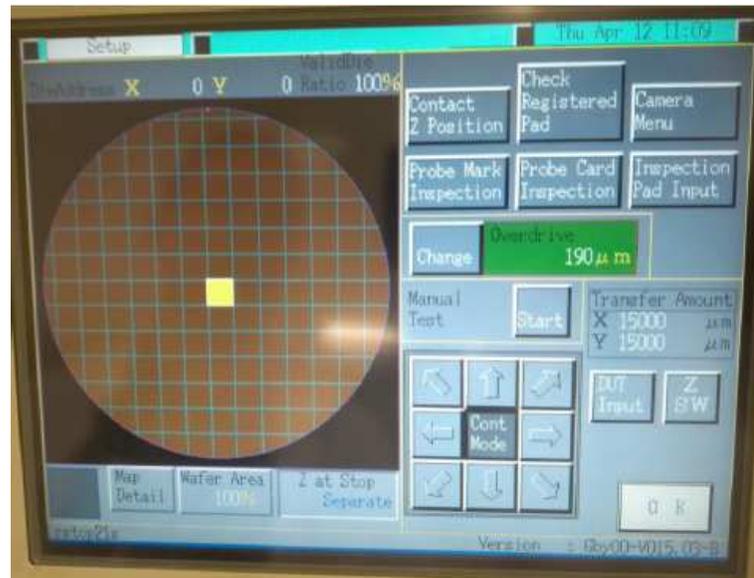


Figura 10: Tela principal de configuração do Probeur

Fonte: NXP Semicondutores

3 Atividades Realizadas

Após a apresentação da empresa, conceitos básicos e aparelhos utilizados, agora serão exploradas as atividades realizadas durante o período do estágio.

O contexto de início de estágio surgiu por conta da necessidade da NXP Semicondutores em Toulouse de um estagiário com duração de 6 meses para auxiliar a equipe de "Engenharia de Produto Testes" para realizar, em geral, as seguintes missões:

- Desenvolvimento de métodos de teste aplicados no aparelho de testes de produção Advantest 93000;
- Estabelecimento de um plano de qualificação de uma membrana de contato inovador, com objetivo de redução dos custos de produção de um Radar ASIC
- Realizar a qualificação dos resultados obtidos nos testes do produto

Os itens citados acima compõem a proposta de estágio inicial, porém, além dessas atividades houveram tarefas e demandas que surgiram durante o período de trabalho. Uma delas, por exemplo, foi a necessidade de montagem de uma nova caixa FMTA para enviar para outro laboratório da NXP (Taiwan) e a modelagem de uma peça de transição de um sinal entre uma linha de transmissão e um guia de onda.

No âmbito de um estágio de fim de estudos para a ESISAR e em associação com a NXP Semicondutores, o estágio aconteceu ao redor de três principais tarefas que serão descritas a seguir, além disso, as tarefas secundárias serão expostas posteriormente, juntamente com as competências adquiridas durante o período.

- Construção de uma nova caixa FMTA (Freescale Millimeter Test Application);
- *Probe on balls* de baixo custo;
- Simulação de uma transição entre um PCB e guia de onda.

Além disso, outras atividades foram realizadas e habilidades foram desenvolvidas no decorrer do estágio. O objetivo deste tópico é expor os detalhes dos trabalhos desenvolvidos nos 6 meses de estágio.

3.1 Duplicação da caixa FMTA

O instrumento produzido pela NXP Semicondutores chamado de *Freescale Millimeter Test Application - FMTA* já foi descrito na seção anterior: trata-se de uma caixa cuja principal função é realizar a multiplexação entre 4 canais de recepção para 1 além de 3 para 1 canais de transmissão, além de realizar a conexão do chip com o hardware de testes.

A equipe de Engenharia de testes de Toulouse recebeu a demanda de construção de uma nova caixa FMTA para ser enviada para outro laboratório da empresa, afim de padronizar e auxiliar a conexão entre o aparelho de testes e o produto.

Para realizar a construção foi necessário realizar o catálogo das peças internas do instrumento: cabos coaxiais, guias de onda, placas de conexão, peças estruturais disponíveis no estoque da empresa. A partir disso, foi realizado o contato direto com os fornecedores de cada item, a compra foi realizada de acordo com a burocracia da empresa. Por fim, realizou-se a construção da caixa e calibração da mesma e a validação através dos testes utilizando diferentes temperaturas e unidades do *Eagle*. Cada etapa será descrita nesta seção, bem como os componentes internos da caixa e sua funcionalidade serão explorados.

Pode-se descrever o instrumento em algumas seções: placas conectoras, cabos de comunicação, guias de onda (caminhos Rx e Tx), placas eletrônicas e estrutura física. Cada uma será descrita a seguir.

3.1.1 Guias de onda - Caminhos Rx e Tx

A Figura 11 representa o diagrama de blocos da seção mais importante dessa caixa: a transição Rx e Tx, respectivamente. Para a antena de transmissão, a saída é a combinação por dois SPDTs em cascata, que funcionam como um chaveamento permitindo a escolha entre as três antenas Tx para a realização dos testes. Já na parte Rx, o UDI, instrumento já citado, é estimulado por um X4, atuando como um divisor de sinais, que será mostrado posteriormente.

Os sinais de controle de cada SPDT são comunicados através do programa de testes a uma placa dentro da caixa e enviados para os SPDTs por cabo coaxiais. Existem outras duas placas internas presentes no instrumento que realizam a recepção dos sinais de controle e enviam para a seção de micro-ondas da caixa. Essas serão descritas nos próximos tópicos.

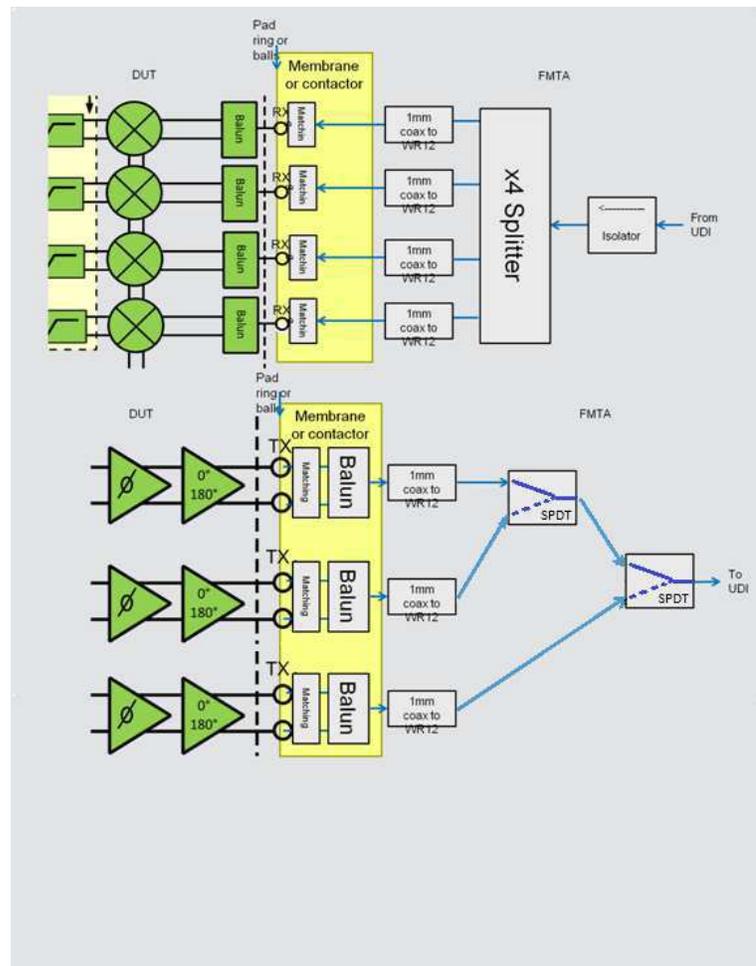


Figura 11: Diagrama de blocos dos caminhos Rx e Tx

Fonte: **NXP Semicondutores**

Caminho Rx: Como já mencionado, o chip MR3003 *Eagle* possui quatro canais de recepção para ser capaz de realizar uma boa comunicação, com grande resolução e precisão. Por essa razão, um grande desafio é realizar a comunicação do produto com o aparelho de testes, que possui somente um canal de recepção. Para isso, um caminho composto de guias de ondas, isolador e um *splitter* x4 é utilizado. A Figura 12 ilustra cada item do caminho Rx.

Cada item que compõe a parte Rx foram devidamente selecionados para obter a melhor transmissão do sinal emitido pelo produto. Na figura 12, os itens 1 e 6 são guias de ondas retangulares WR-12, produzidos pela Quinstar, que operam na banda de frequência entre 60 e 90 GHz. O item indicado pelo número 2 trata-se de um circulador que funciona como um bloqueador de sinal em caso de um fluxo de sinal incorreto. Indicado por 3, temos o detector de potência, afim de avaliar o sinal que é enviado para o canal Rx.

O item em rosa, número 4, trata-se de um *splitter*, que é responsável por receber o sinal enviado pelo ATE através de um canal e multiplexar para cada canal Rx do chip. Por fim, o número 5 são 4 adaptadores de guia de onda WR-12 para cabo coaxial de 1mm, já mencionado na seção anterior, que serão a conexão entre a parte micro-ondas e a placa eletrônica.

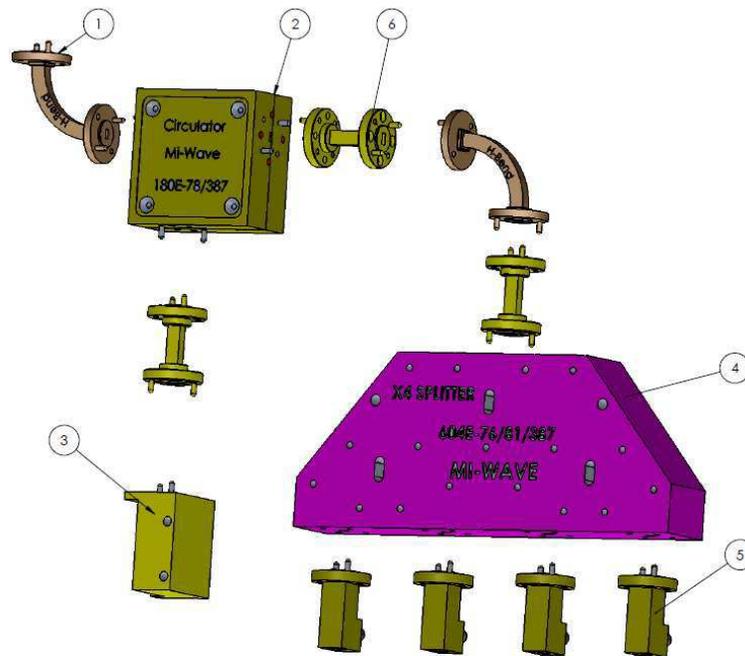


Figura 12: Estrutura do caminho Rx

Fonte: **NXP Semicondutores**

Caminho Tx: De maneira semelhante ao caminho Rx, o caminho Tx proporcionará a comunicação entre o ATE e o produto, visto que não seria possível pois possuem quantidades de canais diferentes.

A Figura 13 indica cada item que compõe esse caminho. Os itens 1, 2, 3, 4 e 10 são guias de onda WR-12, cada uma com uma característica específica: seja de defasar o plano H em 90°, atuar como um caminho reto, realizar uma curva, etc. O número 5 trata-se de um filtro isolador, produzido pela Militech.

O item número 6 trata-se de um *Magic Tee* que, resumidamente, é uma guia de onda com 4 portas que realiza a combinação do campo elétrico e magnético, a abordagem mais profunda desse instrumento não é objetivo desse relatório. A seguir, o item 7, também presente no caminho Rx, é um adaptador entre uma guia de onda WR-12 e um cabo coaxial de 1mm. Os itens 8 e 9 são um isolador e um detector de potência, respectivamente, essenciais para o funcionamento correto do sistema.

3.1.2 Placas eletrônicas

Para que os sinais de micro-ondas sejam transmitidos entre o produto e o ATE, são necessários determinados sinais de controle para coordenar as operações internas da caixa FMTA.

Essas placas foram desenvolvidas alguns anos atrás, pela NXP Semicondutores em colaboração com diferentes fornecedores e a descrição detalhadas não foram objetivo principal do estágio, importando seu funcionamento geral e notoriedade. Sendo assim, a seguir serão apresentados esses objetos com algumas características.

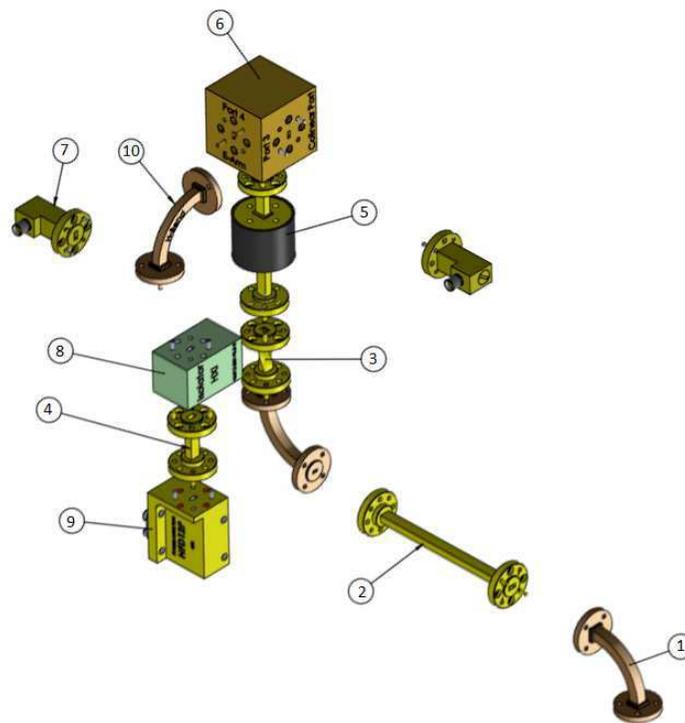


Figura 13: Estrutura do caminho Tx

Fonte: NXP Semicondutores

Placa filha: É a placa responsável por realizar a recepção dos sinais enviados pelo aparelho de testes e, conseqüentemente, transmitir para o chip. A parte micro-ondas está diretamente envolvida com essa placa pois ela que está conectada diretamente por cabos coaxiais à parte superior da caixa (que está em contato com o ATE). Além disso, os sinais de controle para o caminho Tx explicado anteriormente são provenientes dessa placa. Ela atua, basicamente, na comunicação do usuário (via programa de testes) com os sinais micro-ondas enviados. Figura 14 ilustra a placa sem suas conexões efetuadas. Podemos observar a presença de diversos conectores para cabos coaxiais, além das conexões dos cabos tipo Q, produzidos pela SAMTEC, que são da cor azul e serão visualizados nas próximas imagens.

Placa de alimentação: Como o próprio nome sugere, é responsável por realizar a alimentação dos componentes eletrônicos da caixa FMTA, receber e controlar diversos sinais digitais e indicar por meio de LEDs (lado esquerdo da foto) problemas em alguma conexão ou ponto do circuito. A figura 15 ilustra, do lado esquerdo, a vista traseira da placa com a presença dos LEDs de alerta e, do lado direito, os relés presentes e as conexões. Vale reforçar que o estudo do design dessas placas não foram objetivo do estágio realizado.



Figura 14: Placa filha

Fonte: **NXP Semicondutores**

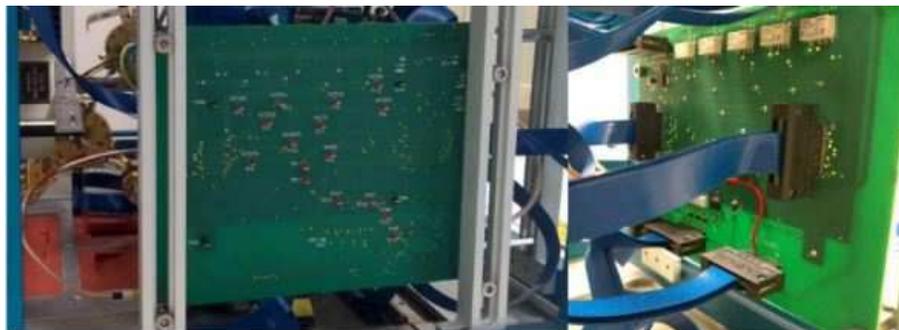


Figura 15: Placa de alimentação

Fonte: **NXP Semicondutores**

Placa Xcerra de conexão: Alocada em posição oposta ao ATE, ela realiza o contato direto entre a caixa FMTA e o chip *Eagle*. Pode-se observar na figura 16, do lado esquerdo, o espaço dedicado para alocação do chip, respeitando as dimensões e espaçamentos do produto.

A placa recebe cabos coaxiais de 1mm, provenientes das saídas dos caminhos Rx e Tx, através do conector da empresa Multitest, ilustrado na imagem abaixo do lado direito, permitindo a comunicação com o MR3003*Eagle*.

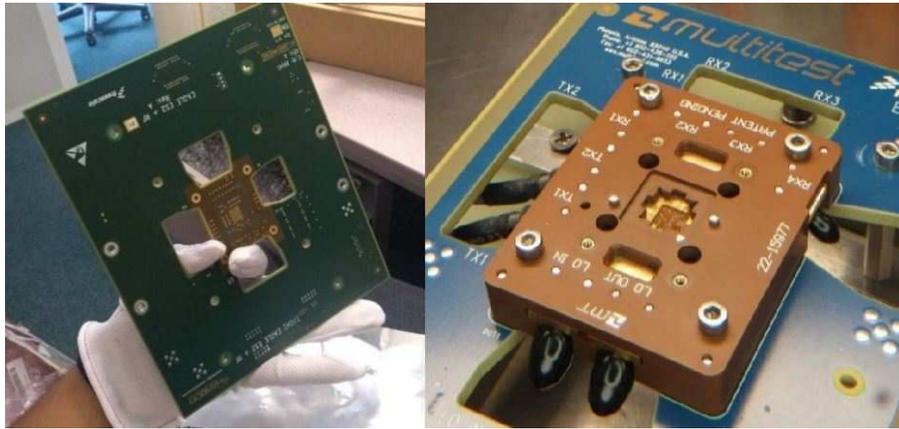


Figura 16: Placa Xcerra de conexão

Fonte: NXP Semicondutores

3.1.3 Estrutura física da caixa

A parte estrutural da caixa FMTA é basicamente composta por peças de metal dimensionadas e compradas de diferentes fornecedores que permitirão dar robustez ao instrumento e segurança para as estruturas mais frágeis. A figura 18 representa a estrutura externa do equipamento.

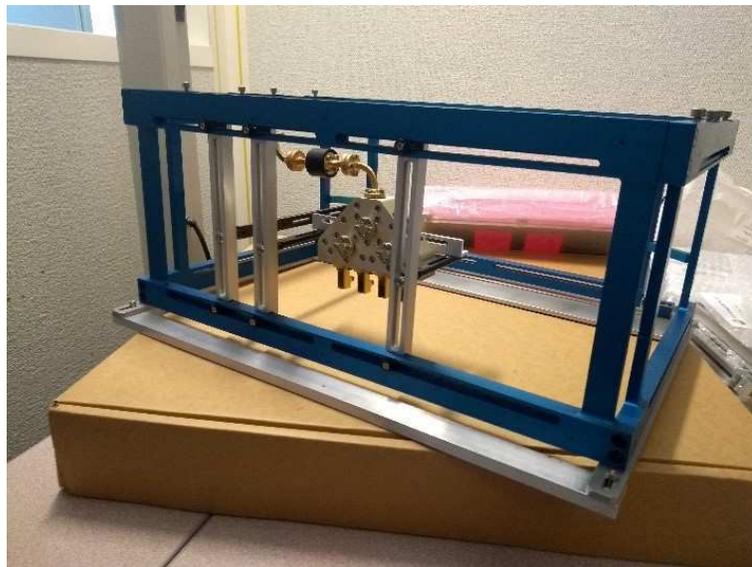


Figura 17: Estrutura da caixa FMTA

Fonte: NXP Semicondutores

3.1.4 Compra das peças

A parte burocrática/administrativa da construção de uma nova caixa FMTA foi realizada durante o estágio e permitiu o desenvolvimento de gestão de projetos e contato com outras equipes da NXP. Pode-se subdividir essa seção em duas partes. A primeira foi a contabilização das peças disponíveis

na empresa, a realização de contato com diferentes fornecedores, recepção dos orçamentos para que assim, a criação dos tickets para realizar a demanda ao setor responsável da empresa. Já a segunda parte trata-se da recepção das encomendas, referenciar as peças recebidas e verificação de qualquer problema. As encomendas realizadas se dividem em categorias: peças estruturais da caixa, cabos coaxiais e tipo Q, guias de ondas (canais Rx e Tx), placas eletrônicas, etc.

3.1.5 Construção da caixa

A NXP Semicondutores Toulouse já possuía duas caixas FMTA para execução de testes (uma para a utilização do Probe P8-XL e outra do *handler*). A nova caixa foi montada para enviar a outro laboratório.

Inicialmente, realizou-se a montagem da estrutura física da caixa, alocando as hastes metálicas que permitiram o suporte para as placas eletrônicas, guias de onda, conectores, etc. A figura 18 da seção anterior ilustrou a estrutura física da caixa.

A segunda etapa foi a construção separadamente dos caminhos das guias de onda Rx e Tx, já descritos anteriormente. Foi necessária atenção na boa conexão entre cada item de cada caminho para evitar perdas de potência. Além disso, no caminho Tx foi necessário a realização de soldas para conectar os fios que recebem os sinais de controle da placa filha, mencionada anteriormente.

Por fim, foi realizada a alocação das placas filha, de alimentação e Xcerra nas laterais da caixa, como também a as conexões dos cabos coaxiais e tipo Q entre elas. A figura 18 ilustra algumas partes importantes do circuito interno da caixa FMTA.

3.1.6 Testes para validação do instrumento

Após a construção da caixa, começamos a avaliação e validação de operação dela. Essa parte iniciou-se com os testes de continuidade, mencionados anteriormente, cujo objetivo é verificar as conexões e se o sinal enviado pelo programa de testes alcança o produto sob teste (DUT), fator inicial para a realização dos experimentos.

Após essa primeira validação, é necessário realizar a calibração do dispositivo para que os resultados encontrados estejam de acordo com a tabela de limites, presente no programa de testes. A execução dessa etapa é feita utilizando o programa de testes, a partir da modificação dos parâmetros do arquivo de calibração. Esse arquivo é responsável por compensar os valores de perdas de inserção interna da caixa para cada caminho de sinal micro-ondas (Rx, Tx e oscilador local).

Afim de facilitar o entendimento de como é feito o processo de calibração, os passos do procedimento e um exemplo prático são descritos abaixo:



Figura 18: Vista interna da caixa FMTA - conexões

Fonte: NXP Semicondutores

Calibração de uma nova caixa FMTA

- Realização de um *testflow* (executar o programa de testes completamente) para um chip, utilizando a caixa FMTA que já estava em operação para obter os **resultados de referência**;
- Copiar o arquivo de calibração da caixa de referência para um novo diretório destinado à nova caixa;
- Realizar um *testflow*, utilizando o mesmo chip, com a nova caixa FMTA;
- Comparar os resultados e compensar os valores do arquivo de calibração, objetivando o mesmo resultado.

Se, para o teste de potência da antena Tx1 (lembrando que o produto possui 4 canais Tx) para a frequência de 78GHz, o valor foi de 13.6dB para a caixa de referência e 15.1 dB para a nova, isso indica que a recém montada apresentou menos perdas que a antiga e, em razão disso, devemos compensar os parâmetros do arquivo de calibração para obter o mesmo valor de potência para o mesmo chip. Então, caso o valor base de calibração fosse 6.5 dB, nós devemos diminuí-lo em

aproximadamente 1.5dB para obter o mesmo resultado para ambas as caixas. Esse procedimento foi realizado para cerca de 20 linhas de testes de micro-ondas: diferentes caminhos Rx e Tx para diferentes frequências.

Esse método de calibração é importante pois devemos trabalhar sempre com a mesma tabela de limites, independente da caixa que seja utilizada. Além disso, como a tabela foi desenvolvida no utilizando os padrões da caixa antiga todas as novas construções devem obedecer a mesma referência.

Após a calibração, é necessário realizar o *testflow* diversas vezes, utilizando o mesmo chip *Eagle*, com o objetivo de observar uma regularidade dos resultados. Após isso, a caixa foi enviada a equipe de Engenharia de Produtos (PE) para realizar os testes utilizando um número maior de chips (nesse caso, 100 peças) para três temperaturas base (-40°, 25° e 125° C), conhecido como método *Shop order*, ou seja, testando a caixa FMTA aos limites de testes de temperatura do produto. Após essa última etapa a validação da caixa foi completa e a mesma estava pronta para uso.

3.1.7 Problemas encontrados

Durante o processo de construção da nova caixa FMTA, houveram alguns problemas de diferentes áreas. Por exemplo, problemas administrativos impediram maior fluidez, além de soluções de engenharia tiveram que ser realizadas. Para o cumprimento do cronograma, diferentes habilidades foram desenvolvidas.

Um problema aconteceu na construção dos caminhos de guias de onda: observou-se que os parafusos deveriam ser mais apertados pois acarretou em uma perda de aproximadamente 3dB de potência durante o primeiro teste. Além disso, foram realizadas diversas soldas dentro do circuito interno da caixa: dois pontos de um relé na placa de alimentação da nova caixa foram curto-circuitados e isso foi observado com o estudo dos esquemas eletrônicos dessa placa; fios de controle tiveram que ser soldados no caminho Tx para realizar a comunicação entre a placa filha e o sistema micro-ondas, além de outros procedimentos.

No que diz respeito a parte administrativa, foi necessário a discussão com diversos fornecedores para obter informações dos produtos e também do processo de compra no que diz respeito aos orçamentos e comandas. Internamente na NXP, foi necessário o trabalho em conjunto com a equipe administrativa para solucionar problemas como orçamentos não recebidos, etc. Características de liderança, atividade em grupo, organização e trabalhos com *deadlines* foram desenvolvidos.

3.2 *Probe on balls* de baixo custo

O processo de *probe on ball* é a realização de medições do produto ainda no nível de *wafer*, realizado no laboratório de testes finais. O termo *ball* (bola, em português) surge do sistema de empacotamento WLCSP pois a estrutura física do chip é composta por diversas circunferências, como já explicado anteriormente. Esse processo é caro em razão da utilização que um método que é chamado de Membrana em cascata e, além disso, não possui grande longevidade.

Uma solução de menor custo para esse método de medição é a utilização de uma membrana para realizar a conexão entre a placa PHEB e o produto, através do *Probe P8-XL*. Um dos objetivos iniciais do estágio foi a avaliação de características e resultados de diversas opções de baixo custo dessas membranas proveniente de fornecedores diferentes. Nessa seção do relatório, as vantagens e característica de cada opção, os métodos de testes para avaliação e os resultados obtidos serão discutidos.

3.2.1 Contexto da solução

Um dos maiores problemas para a equipe de engenharia da NXP em Toulouse são os altos custos no processo de testes de um produto de alta tecnologia como o *Eagle*. O objetivo dessa atividade durante o estágio foi encontrar uma solução de baixo custo para realizar a conexão entre a placa PHEB e o produto, que contém o circuito de comunicação com o aparelho de testes. A figura 19 representa a possível solução para conectar o produto que trabalha entre 76-81 GHz e a placa PCB, através de uma membrana elastomérica, que possui características flexíveis, resistentes, etc.

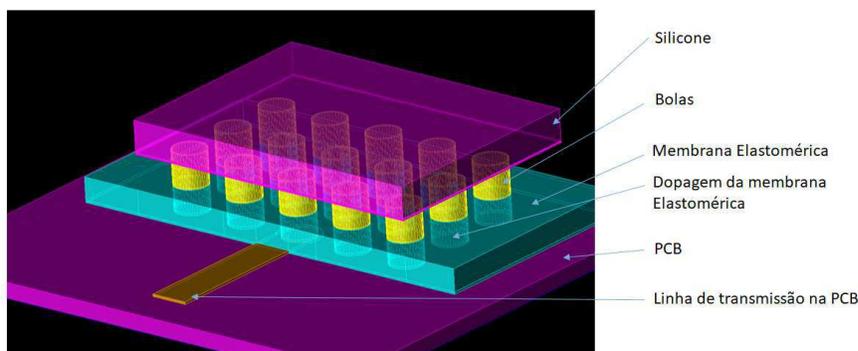


Figura 19: Possível solução para reduzir os custos dos testes

Fonte: **NXP Semicondutores**

O objetivo principal da equipe de testes em Toulouse é realizar os testes diretamente no nível de *wafer* e utilizar a placa PHEB para reduzir os custos. Dessa maneira, a solução utilizando uma membrana elastomérica aparece com características favoráveis devido ao seu baixo preço, alta vida útil e baixa influência nas características do produto.

As características que devem estar presentes na nova membrana foram descritas pela equipe para de manter o bom funcionamento do sistema. Dentre elas, destacam-se: a membrana não deverá cobrir as trilhas de cobre da PCB, deve possuir alta durabilidade, resistência nas diferentes temperaturas de operação e possuir uma tolerância para trabalhar em até 150 °C. Durante a seleção dentre as opções do mercado, as características eletrônicas, dimensões, coeficiente de permissividades, fator de perdas, dentre outros parâmetros foram avaliados.

Essa parte do estágio foi importante para desenvolver as competências de testes em altas frequências, avaliação e análise de diferentes produtos, especificação de resultados e utilização dos equipamentos já mencionados.

3.2.2 Opções de fornecedores das membranas conectoras

(a) *Phoenix Test arrays solutions (PTE)*: A solução sugerida pela empresa Phoenix prevê uma aplicação de um conector de baixo custo para realizar a conexão entre uma PCB e um produto à 80GHz através de uma boa integração do sinal, capacidade de trabalhar em altas frequências, precisão analógica e dispositivos com sinais mistos. A durabilidade e inovação são os pontos fortes dessa tecnologia e a avaliação da NXP (antes do período do estágio) foi de realizar os testes necessários e trabalhar com dois tipos de conectores desenvolvidos pela PTE: C300 e C400.

As próximas seções descreverão as duas membranas mencionadas, bem como suas características e vantagens. Essas soluções são compostas basicamente de dois componentes: *Golden Contact Set* e *Silmat Interposer*, onde o primeiro é responsável principalmente por aumentar a proteção e durabilidade do segundo, além de permitir a facilidade de higienização e um plano uniforme que facilita a conexão. O segundo componente, *Silmat Interposer*, é a membrana elastomérica propriamente, com alta resistência, atuando em uma larga banda de frequência e facilidade na substituição.

Solução C300

A solução C300 do sistema de contato proposto pela PTE é um dispositivo que possui as duas peças, já mencionadas no paragrafo anterior e indicado na Figura 20 abaixo:

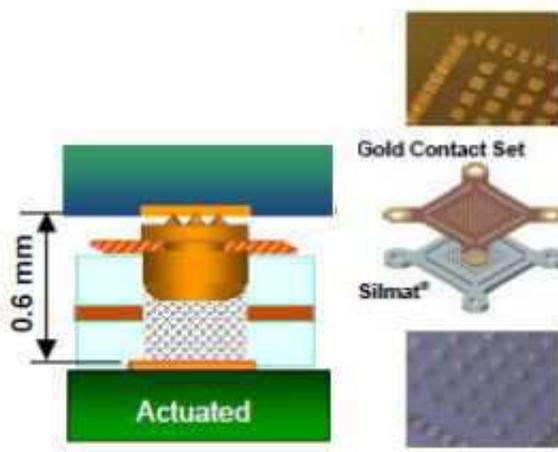


Figura 20: Solução C300

Fonte: **Phoenix test arrays**

Algumas das características do produto, indicadas no site do fabricante, foram resumidas na tabela abaixo.

Tabela 2: Características da solução C300

Perdas de inserção	-1.5 dB (90GHz)
Altura de contato (comprimido)	0.6 mm
Temperatura de operação	-55 a +155 °C
Vida útil	Aproximadamente 2 000 000 atuações
Altura mínima (para conexão)	0.35 mm

Solução C400

A principal diferença da solução C400 para a C300 é a ausência do conector de ouro (*Gold Contact Set*), alterando assim, determinadas características elétricas e mecânicas. A figura 21 e a tabela 3 apresentam essa solução.

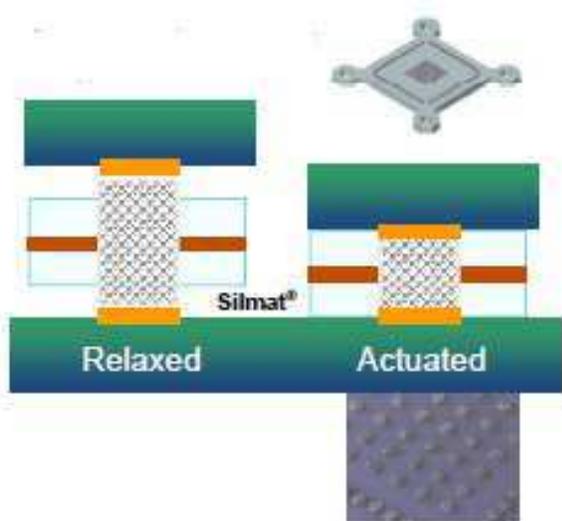


Figura 21: Solução C400

Fonte: **Phoenix test arrays**

Tabela 3: Características da solução C400

Perdas de inserção	-1.2 dB (90 GHz)
Altura de contato (comprimido)	0.4-0.6 mm
Temperatura de operação	-60 a +200 °C
Vida útil	Aproximadamente 1 000 - 100 000 atuações
Altura mínima (para conexão)	0.3 mm

Observando as tabelas 2 e 3 podemos observar determinadas características diferentes entre a solução C300 e C400. A primeira apresenta maior durabilidade, maior altura de contato porém maior perda por inserção e menor intervalo de temperatura. Essas características serão determinantes na avaliação dos resultados a seguir.

Testes realizados

Os testes para encontrar uma solução de membrana conectora de baixo custo foram realizados utilizando o *Probe P8-XL*, objetivando realizar os testes manualmente. Para a opção sugerida pela Phoenix, nós utilizamos o sistema a vácuo presente no próprio aparelho de testes para realizar a "colagem" ou conexão entre a placa PHEB e a membrana. Em razão disso, os testes utilizando a solução C300 foram cancelados devido à impossibilidade de utilizar o sistema a vácuo para manter as duas membranas conectadas, visto que não são membranas autocolantes.

O primeiro teste a ser realizado com os produtos *Eagle* foi o de continuidade para confirmar a comunicação entre o aparelho de testes e o chip. Para realizar esse teste e encontrar o ponto de conexão com o chip devemos trabalhar na configuração do *overdrive*, na tela de configuração do *P8-XL*, apresentado na seção anterior, presente na figura 10.

Segundo as especificações do fabricante, a faixa distância para obter contato com o C400 é entre 130 e 230 micrômetros, sendo 200 micrômetros o valor nominal, então o primeiro teste foi encontrar a altura ideal do *overdrive* ou seja, a pressão a ser aplicada para o melhor funcionamento da conexão. Os testes foram efetuados 3 vezes para cada altura escolhida e em diversos chips do *wafer* afim de obter resultados uniformes para validação.

A solução C400 aplicada no produto *Eagle* apresentou resultados negativos com a utilização do sistema a vácuo, devido aos problemas de alinhamento com o *Probe P8-XL* e, além disso, os resultados de continuidade de conexão em todos os chips não foram satisfatórios. Dessa forma, não foi possível utilizar o *P8-XL* devidamente nos testes realizados e uma solução para isso foi a utilização do atuador manual (figura 16, lado direito) e essa opção não é útil para os testes automáticos pois é necessário alocar manualmente o chip, tornando a solução pouco eficiente.

Problemas encontrados Inicialmente, foram encontrados problemas de resistência parasita com a utilização da membrana Phoenix. O método para verificação desse fenômeno foi a conexão e desconexão diversas vezes de um mesmo chip e a verificação dos testes de continuidade. Como mencionado, o chip foi desenvolvido utilizando a tecnologia WLCSP e possui diversas "bolas" em sua superfície, se houver diferenças entre os testes nas conexões dessas "bolas" com a membrana, podemos caracterizar como resistência parasita. Essa resistência normalmente deve modificar os valores de contato entre a placa e o produto, por isso devemos ter atenção e sempre corrigi-las, sendo o procedimento de correção a realização da limpeza do *wafer* e das peças uma por uma.

O principal impedimento na utilização dessa solução foi a execução da pressão correta no chip efetuada pelo *Probe P8-XL* para que a conexão fosse uniforme, tornando assim, um grande ponto negativo para essa solução. Além disso, observando os preços e durabilidade quando em comparação com as outras soluções, que veremos a seguir, não obtivemos valores favoráveis para a PTE.

(b) Solução Xcerra: A empresa Xcerra já desenvolveu outros produtos importantes para o projeto *Eagle*, como o conector manual descrito anteriormente. Para essa seção, a empresa sugeriu a avaliação de um novo conceito de conector de baixo custo para o ambiente de testes.

O objetivo da NXP Semicondutores é encontrar uma membrana que se conecte a placa PHEB, dentro do *P8-XL*, que atue nas temperaturas extremas de operação. Para essa solução, a equipe de testes realizou diversas reuniões com a Xcerra com o objetivo de descrever as condições de funcionamento da membrana para o nosso projeto.

As características fundamentais que o conector proposto deve possuir foram apresentadas nas reuniões com os engenheiros da Xcerra. Dentre elas, podemos destacar a necessidade de um conector com a mesma dimensão do chip, utilização dos mesmos esquemas eletrônicos que foram utilizados na produção do conector manual, etc. Além disso, por conta da disponibilidade de criação de um projeto do zero, direcionado ao produto *Eagle*, foi solicitado o *design* de uma conexão entre o chip e a linha de transmissão, utilizando cabos coaxiais e/ou guias de onda para realizar testes com um tipo diferente de conector.

Essa última observação, transição entre uma linha de transmissão e guia de onda, nos possibilitou o início da terceira atividade desenvolvida no estágio: realização de simulações e estudos de dimensionamento desse tipo de transmissão. A próxima seção apresentará as atividades realizadas e resultados obtidos.

Como o processo de avaliação de uma nova solução com a Xcerra esteve realmente no começo do contato durante o período de estágio, a possibilidade de realização dos testes dessa opção se tornaram pouco prováveis. Porém, as reuniões iniciais que foram realizadas foram importantes para apresentar as características da demanda, cronograma proposto, etc. Além disso, enriqueceu o estágio devido com contatos e reuniões de diferentes empresas.

(c) Solução Paricon: A opção sugerida pela empresa Paricon nos mostrou uma boa candidata para a utilização como um conector de baixo custo para o projeto *Eagle*. A possibilidade de solicitar um design de membrana personalizada, com baixas perdas de inserção em altas frequências e outras características do produto encontradas no site do fabricante proporcionaram interesse da equipe de testes como uma possível solução para o problema de baixo custo no *probe on balls*.

A NXP semicondutores recebeu duas membranas Paricon para realizar os testes iniciais, uma com 0.4mm e outra com 1mm de espessura. Inicialmente, os testes realizados foram feitos na membrana de 1mm por apresentar características mecânicas mais resistentes.

As propriedades favoráveis dessa opção foram a possibilidade de ser autocolante, facilidade de higienização e possível substituição. A característica de ser autocolante permite a utilização do Probe P8-XL sem a necessidade de um sistema a vácuo para manter a membrana conectada e isso é uma grande vantagem com relação às demais opções.

Análogo ao procedimento da solução Phoenix vista anteriormente, a validação do conector começa utilizando os testes de continuidade e na seleção de uma boa altura (pressão) imposta no chip pelo P8-XL, através do comando do *overdrive* do Probe. O procedimento dos testes para validação de continuidade serão especificados nos próximos parágrafos.

Para essa etapa do projeto, o método para escolha da melhor pressão imposta pelo P8-XL foi a utilização dos valores limites base informados pelo fabricante e verificar em qual deles obtivemos o maior número de peças com conexão. A figura 22 ilustra os resultados de conexão para cada peça da parte superior do *wafers* retangular. Em vermelho é a posição do chip que não houve conexão, em verde aquelas que passaram nos testes de continuidade. Inicialmente, utilizamos o valor de 160 μm (valor nominal), diminuindo e aumentando o valor do *overdrive* em 20 μm , para observar o comportamento.

Durante a execução, nós observamos um problema de conexão constante em diversas peças independentemente da pressão aplicada. Verificou-se que o problema foi a presença de uma fita adesiva colada na base da placa que estava interferindo na pressão entre a placa e o chip. Após a eliminação desse problema e a limpeza devida da superfície conectora da placa, os testes de continuidade foram executados utilizando o mesmo procedimento descrito anteriormente.

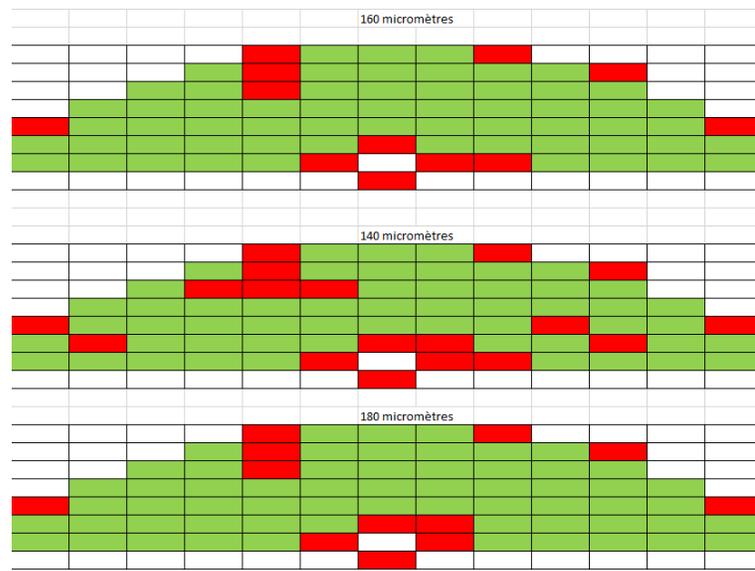


Figura 22: Teste de continuidade efetuado para validação da solução Paricon

Fonte: **Autoria própria**

Após os testes de continuidade, realizou-se os testes de micro-ondas utilizando um chip e os primeiros resultados foram positivos. O conector apresentou um baixo valor de perdas de inserção, baixo fator de ruído, conexão facilmente executável, limpeza e manutenção simples. Os resultados foram omitidos devido ao contrato de confidencialidade.

Avaliando os resultados obtidos pela solução Phoenix e Paricon e além da impossibilidade de realização de experimentos para a solução Xcerra, concluiu-se inicialmente que a última opção descrita, a solução Paricon, foi mais robusta e com resultados mais confiáveis. Para os próximos meses, a NXP deverá começar a validação de um novo conector para essa aplicação, visando os testes para diversas temperaturas e a validação para utilização de uma nova membrana de baixo custo na conexão *Probe on balls*.

3.3 Simulações de uma transição entre PCB e guia de ondas

3.3.1 Introdução

Uma linha de transmissão (PCB) e guia de onda são estruturas guiantes de ondas eletromagnéticas que são extremamente utilizadas na indústria e são relativamente simples de serem modeladas. Existem diversos estudos para realizar a transição de um sinal entre esses dois meios propagantes e a escolha dentre os métodos disponíveis foi a utilização de uma antena planar com o propósito de irradiar o sinal proveniente da linha de transmissão dentro da guia de onda retangular [1].

Como já explicado anteriormente, a opção do conector Xcerra para um contato de baixo custo no sistema *probe on balls* solicitou o estudo de uma transição entre uma *microstrip* e uma guia de onda. Essa tarefa foi realizada durante as quatro últimas semanas de estágio com o auxílio de um engenheiro de *design* e, além disso, ela não fazia parte do cronograma inicial do estágio, tendo sido uma demanda executada. A metodologia, desenvolvimento e resultados de uma transição entre PCB e guia de onda a 80GHz serão explicadas nos tópicos a seguir.

3.3.2 Teoria

Microstrip: Uma *microstrip* é um tipo de linha de transmissão bastante utilizada nas frequências RF e micro-ondas e é fabricada utilizando circuitos impressos (PCB). Em comparação com as guias de onda, elas possuem normalmente menor capacidade de transmissão e mais perdas, entretanto são fabricadas mais facilmente e bem mais baratas [2].

A metodologia foi criar uma linha de transmissão com impedância de 50Ω para realizar a transmissão de um sinal a 80 GHz, utilizando o substrato RO3003 ($\epsilon_r = 3$). O cálculo da largura da linha de transmissão foi realizado segundo a expressão 1 e o valor da largura de 310 micrômetros foi escolhido para satisfazer as características citadas.

$$w = \frac{7.48 * h}{e^{Z_0 * \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1.41}{87}}}} - 1.25 * t \quad (1)$$

Guia de onda retangular: O guia de onda é uma estrutura guiante de ondas eletromagnéticas utilizada para altas frequências devido a sua característica de baixas perdas (menores que em cabos coaxiais). Com relação a propagação, deve-se observar que não existe o modo transversal eletromagnético nessas estruturas devido a falta de variação de tensão e, sendo assim, a frequência de operação dessas estruturas é descrita pelos modos TE e TM, diretamente relacionados com as dimensões da guia.

O tipo de guia de onda utilizado nessa parte do projeto foram os retangulares por conta da sua fácil modelagem. Para a banda de frequência do produto *Eagle*, 76 - 81 GHz, utilizou-se a guia de onda WR-12, com dimensões de 3.0988 x 1.5494 mm pois é compatível com essa faixa de frequência.

Para realizar a modelagem utilizando os *softwares* ADS e EMPro da Keysight Technologies, partimos de um modelo comercial produzido pela PASTERNAK, ilustrado na figura 23. Esse guia de onda é o mesmo utilizado na construção da caixa FMTA e possui características disponibilizadas pelo fabricante tais como:

- Frequência de operação: 60 - 90 GHz;
- VSWR: 1:06:1 (Taxa de amplitude máxima de tensão sobre mínima de tensão);
- Perdas de inserção: 0.82 dB/m;
- Material: cobre revestido por ouro;
- Comprimento de 3 in (76.2 mm).

3.3.3 Metodologia

A metodologia de simulação foi realizar a modelagem e verificação a cada etapa executada. Isto é, a simulação de uma linha de transmissão impressa com as características descritas na seção anterior foi realizada e validada, bem como a modelagem de uma guia de onda WR-12 com dimensões comerciais e, por fim, a transição propriamente dita que trata-se de uma antena *patch* que irá irradiar o sinal eletromagnético dentro da guia de onda. Utilizou-se os softwares ADS para as modelagens



Figura 23: Guia de onda WR-12 PASTERNAK

Fonte: **PASTERNAK**

em 2D e EmPro para o *design* 3D. Devido ao contrato de confidencialidade, os resultados finais, as dimensões otimizadas e demais informações foram omitidas. Sendo assim, no relatório teremos os resultados parciais (com menos pontos de simulação) e os esboços das estruturas simuladas.

3.3.4 Simulações

Primeiramente, os objetos foram modelados no ADS para realizar a verificação dos resultados e posicionamento correto das portas de referência.

Para a guia de onda, utilizou-se o material cobre obedecendo as dimensões de um WR-12 (3.0988 x 1.5494 mm) com 3in (76.2mm) de comprimento, normalizando as portas 50 Ω e realizando as simulações obtivemos resultados semelhantes aos disponibilizados pelo fabricante: transmissão entre 60 e 90 GHz, frequência de corte a partir dos 55 GHz e baixas perdas. Os resultados foram omitidos pois trata-se apenas da validação da estrutura.

Para a linha de transmissão, estrutura mais simples, utilizamos as características de substrato, largura da linha e comprimento descritas na seção anterior e obtivemos bons resultados. Os primeiros problemas surgiram na adaptação indutiva necessária entre a linha de transmissão e a antena planar que irá realizar a irradiação na guia de onda. Para essa adaptação, utilizou-se um modelo que a NXP já utilizou e foi cedido pela equipe de *design* para realização dos primeiros testes, a vista superior da estrutura está indicada na figura 24 e, novamente, omitimos os valores base devido ao contrato de confidencialidade.

A figura 25 indica em amarelo a guia de onda com a estrutura anterior, tendo uma espessura de 1mm. Além disso, em azul, realizou-se diversos furos na superfície inferior da estrutura para conectar-se ao plano de massa e evitar curto circuito com a linha de transmissão.

Para evitar que a linha de transmissão impressa na PCB sofra interferências pela superfície metálica da guia de onda, uma peça com formato de circunferência e espessura de 1mm deve ser colocada entre a PCB e a guia de onda. A vantagem dessa peça é que ela é fabricada na NXP e possui espaçamentos ideais para evitar o contato com a linha de transmissão. A figura 26 representa a imagem 2D dessa peça.

A modelagem 3D da peça completa é mostrada na figura 27. Durante o processo de simulação



Figura 24: Linha de transmissão e antenas planares para a simulação

Fonte: **Autoria própria**

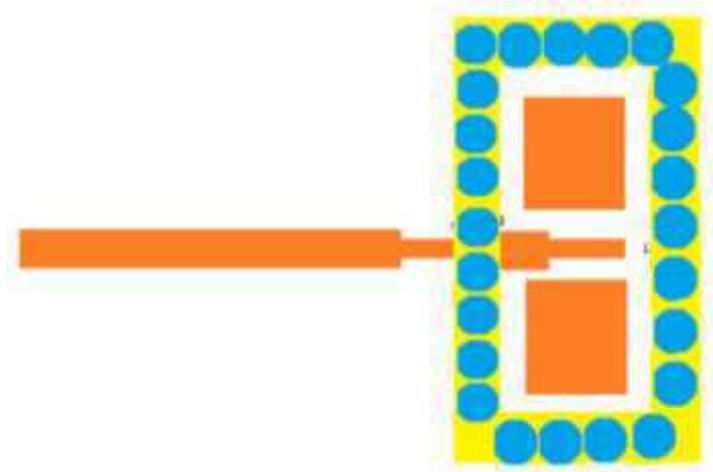


Figura 25: Linha de transmissão e antenas planares para a simulação

Fonte: **Autoria própria**

e configuração de malha, encontramos alguns problemas para executar a simulação com a peça completa (tempo de simulação muito grande, erros em malha, etc.) e por isso cortamos a estrutura de forma retangular pois os furos externos, destinados aos pequenos parafusos, não afetam muito nossas análises.

3.3.5 Resultados

O objetivo da transição entre uma linha de transmissão em circuito impresso e a guia de onda é realizar a transferência do sinal eletromagnético com poucas perdas. Nessa seção serão apresentados os resultados iniciais e animadores das primeiras simulações da estrutura. As simulações seguintes, bem como as dimensões utilizadas, foram omitidas por solicitação da NXP Semicondutores para respeitar o contrato de confidencialidade.

Dessa maneira, os resultados para os parâmetros de espalhamento S_{21} e S_{11} estão apresentados na figura 28. Observa-se bons valores para as frequências entre 75 a 78 GHz, S_{21} em torno de

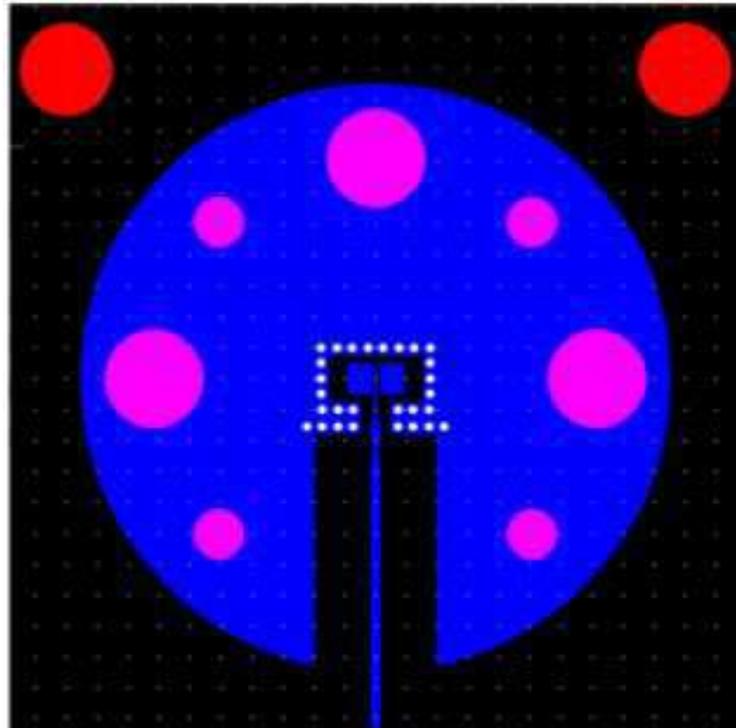


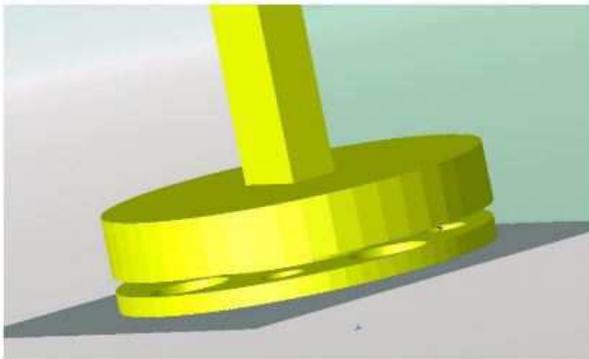
Figura 26: Modelagem 2D da peça conecto

Fonte: **NXP Semicondutores**

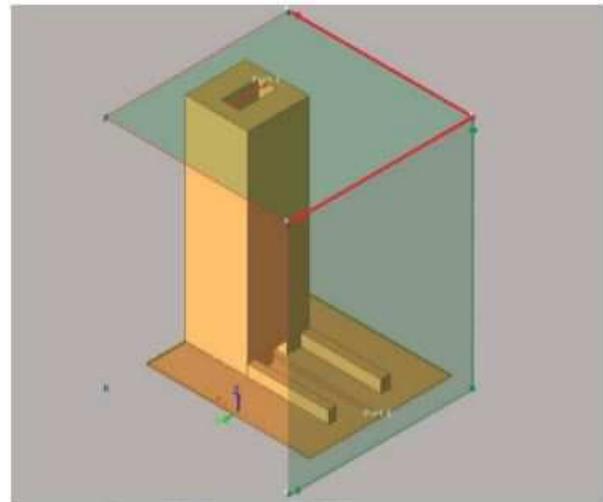
-4 e -5 dB, onde os resultados comerciais são em torno de -2 dB e com o processo de otimização foram alcançados valores mais relevantes e com maior faixa de frequência. Como já mencionado, as primeiras simulações foram realizadas com poucos pontos devido a necessidade de longo tempo de simulação para essa estrutura.

Próximos objetivos:

- Detalhar a modelagem 3D com objetivo de obter uma estrutura mais realística;
- Realizar os testes de simulação com mais pontos;
- Melhorar o casamento de impedância entre a linha de transmissão e a antena planar.



(a) Estrutura completa



(b) Estrutura com corte retangular

Figura 27: Visão 3D da estrutura

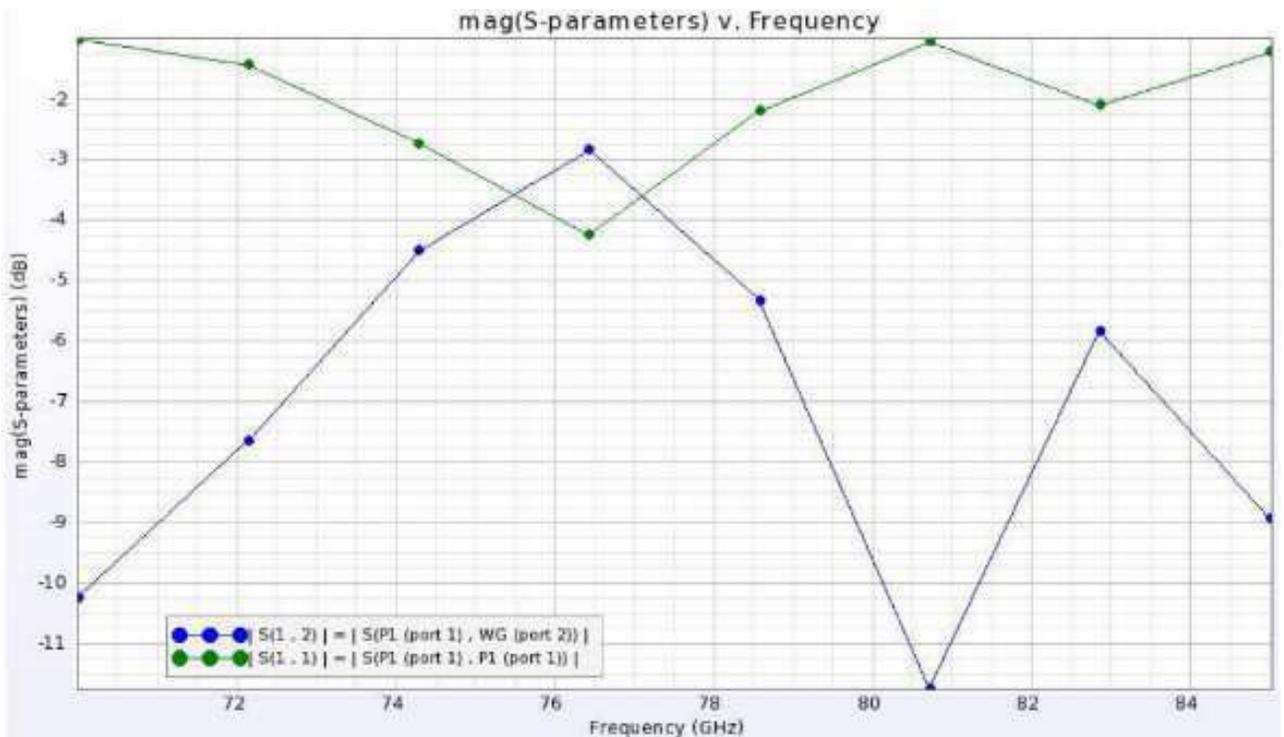


Figura 28: Resultados: Parâmetros S(parâmetros de espalhamento)

Fonte: **Autoria própria**

4 Conhecimentos e competências técnicas e práticas obtidas no estágio na NXP Semicondutores

A realização de um estágio realizado em uma empresa mundialmente conhecida como a NXP Semicondutores permite o desenvolvimento de diferentes aprendizados que podem ser habilidades

técnicas ou não. Dentre as habilidades técnicas desenvolvidas:

- Trabalho em conjunto com a equipe de engenheiros de teste para um chip de alta performance.
- Avaliação dos resultados obtidos dos testes realizados no produto;
- Leitura de esquemas eletrônicos;
- Metodologia e execução de simulações em *softwares* de simulação eletromagnética.

Habilidades de comportamento profissional (*soft skills*):

- Organização, pontualidade;
- Elaboração de relatórios com atividades realizadas para os superiores;
- Metodologia de trabalho em laboratório de testes finais de um produto;
- Participação de reuniões em outra língua, com superiores;
- Falar em público, realizar perguntas sempre que necessário.

5 Conclusão

Como parte de um intercâmbio entre o Brasil e a França, como aluno da Grenoble-INP ESISAR com ênfase nos sistemas de radiofrequência, trabalhar por 6 meses em um estágio de graduação na NXP Semicondutores representou a conclusão da minha experiência estudantil no exterior. Trabalhar com a equipe de testes de um produto de alto desempenho me permitiu o desenvolvimento de características técnicas e não técnicas, permitindo a evolução profissional durante o período.

O estágio realizado seguiu o cronograma proposto, desenvolvendo por seis meses a solução de problemas e conquista de resultados, tais como : realização de testes no produto de alta performance, contato com diversos fornecedores externos, desenvolvimento de um plano de testes para uma nova membrana de conexão, elaboração de manuais para utilização dos aparelhos do laboratório, construção, validação e calibração de uma caixa específica (FMTA) para auxílio de testes, simulações de uma transição eletromagnética entre PCB e guia de onda a 80 GHz.

Referências

- [1] C. A. Balanis. *Antenna theory: analysis and design*. Wiley-Interscience, 2005.
- [2] D. M. Pozar. *Microwave Engineering*. United States: Wiley, 2011.