

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT ELECTRONIQUE  
N° :.....**



**FILIERE : TELECOMMUNICATION  
OPTION : SYSTEMES DES  
TELECOMMUNICATION**

*Mémoire présenté pour l'obtention*

*Du diplôme de Master Académique*

**Par :**

*DJAIDJA Tariq*

# **Etude et conception d'un diviseur de puissance Reconfigurable Gysel pour les applications mobiles**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. TABAKH Moustapha	Université de M'sila	Président
Dr. KENANE El-Hadi	Université de M'sila	Rapporteur
Dr. GARAH Messaoud	Université de M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2021 /2022**

## Remerciements

**J**e tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

**J**e voudrais dans un premier temps remercier, Dr. **KENANE El-Hadi** professeur à l'université de M'sila, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion, pour le temps aussi qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence m'a grandement stimulé

**J**e remercie très sincèrement les deux membres de jury, Dr. **TABBAKH Mostafa** et Dr. **GARAH Messaoud**, pour avoir accepté de juger mon travail

**J**e remercie également toute l'équipe pédagogique du département d'électronique et les intervenants professionnels responsables de ma formation pendant deux ans, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Un grand merci est adressé aux enseignants de Système de télécommunications

**M**es parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements

**J**e veux remercier tous les étudiants d'électronique et surtout les étudiants de Systèmes de télécommunications.

## Dédicace

**A** mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études

**A** mon frère **RIDHA DJAIDJA**, pour ton appui et ton encouragement, ton soutien tout au long de mon parcours universitaire et ma vie aussi

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

**P**our que je n'oublie pas mes amis : Omar, Moundir, Fouad, Abdenour et les autres

**M**erci d'être toujours là pour moi.

## Table des Matières

REMERCIEMENTS .....	2
DEDICACE.....	3
TABLE DES MATIERES .....	4
INTRODUCTION.....	9
I.1 DEFINITION .....	10
I.2 NOUVEAUX DIVISEURS DE GYSEL AVEC GROUPE NEGATIF CARACTERISTIQUES DE RETARD.....	12
I.3 THEORIE DE LA CONCEPTION .....	12
I.4 DIVISEUR DE GYSEL AVEC DES LIGNES DE TRANSMISSION DOUBLES COMPOSITES .....	19
I.5 ANALYSE DE LIGNE DE TRANSMISSION DOUBLE COMPOSITE (CDTL).....	20
II.1 INTRODUCTION.....	24
II .2 LA RECONFIGURABILITE DANS LES DIVISEURS DE PUISSANCE .....	25
II.3 TECHNIQUES UTILISEES POUR FAIRE LA RECONFIGURABILITE DANS LES ANTENNES .....	26
II.4 LES DIODES PIN .....	27
II.4.1 CARACTERISTIQUES IMPORTANTES D'UNE DIODE PIN .....	27
II.4.2 AVANTAGES ET INCONVENIENTS D'UNE DIODE PIN.....	28
II.4.3 MEMS .....	28
II.5 CONCLUSION .....	30
III.1 INTRODUCTION .....	32
III.2 ETUDE PARAMETRIQUE D'UN DIVISEUR DE GYSEL .....	32
III.2 CONCLUSION .....	39
IV.1 INTRODUCTION.....	41
IV.2 CHOIX DE L'OUTIL DE SIMULATION.....	41
IV.3 OUTIL DE SIMULATION CST.....	41
IV.4 CONCEPTION D'UN DIVISEUR DE GYSEL.....	43
IV.5 CONCLUSION.....	50
REFERENCES.....	53

# INTRODUCTION GENERALE

---

Les diviseurs de puissance imprimés sont des composants clés dans une large gamme de circuits hyperfréquences, où les fréquences micro-ondes allant de 1 GHz à 300 GHz sont largement utilisées pour les communications par satellite, les communications cellulaires, la navigation et de nombreuses autres applications. Ces diviseurs micro-ondes sont largement utilisés dans les réseaux d'antennes, les amplificateurs équilibrés, les mélangeurs, les multiplicateurs de fréquence, etc., en tant que combinateurs ou diviseurs de puissance. En particulier, ces diviseurs sont utilisés pour assurer une alimentation électrique d'un réseau d'antennes, un chemin doit être connecté à l'aide d'un ou plusieurs diviseurs de puissance (matrice de Butler) ce qui permet de faire une jonction entre une entrée d'un seul canal avec la sortie de plusieurs canaux.

Les diviseurs de puissance sont des composants indispensables dans les systèmes de communication sans fil modernes à cause de plusieurs considérations de conception de ces composants hyperfréquences telles que le coût, le poids, et l'aptitude à la fabrication.

La fonction principale d'un diviseur de puissance est de diviser un signal d'entrée donné en deux signaux ou plus selon les besoins du circuit / système. Une application typique pour un diviseur de puissance est de diviser un signal pour alimenter plusieurs amplificateurs de faible puissance, puis de faire recombinaison des signaux des amplificateurs en un signal de sortie de puissance élevée. Parmi les diviseurs les plus populaires dans le domaine micro-ondes, on peut citer les diviseurs de Gysel [1]. Ces diviseurs de Gysel sont utilisés pour combiner la puissance de deux amplificateurs haute puissance en un port de sortie.

Notre objectif principal pendant cette conception est mentionné dans les trois points :

- apprendre la théorie fondamentale d'un diviseur de puissance de type GPD reconfigurable.
- Une étude paramétrique approfondie d'un diviseur de Gysel Reconfigurable ce qui permet de voir l'effet de différents paramètres sur les caractéristiques et les performances de ce diviseur.
- Conception d'un diviseur de Gysel reconfigurable en utilisant CST studio.

Le diviseur de Gysel présente plusieurs inconvénients telles que la limitation dans sa bande passante et sa taille grande. Ces inconvénients limitent leur application et leur flexibilité dans les circuits hyperfréquences. En raison de l'exigence de double bande dans certains systèmes de communication sans fil (GSM, UMTS, LTE). Certaines techniques ont été utilisées pour réaliser un diviseur de puissance à double bande comme l'insertion de lignes de transmission non uniformes, en utilisant des lignes de transmission, des stubs et des composants actifs (diodes PIN). L'utilisation des composants actifs dans un diviseur de Gysel permet de faire la reconfigurabilité de ce dernier.

Ce travail présente une nouvelle conception d'un diviseur de Gysel reconfigurable qui contourne le problème de bande passante étroite. Ces diviseurs permettent de modifier le

## CHAPITRE I : Etat de l'art d'un diviseur de Gysel

---

fonctionnement en activant ou en désactivant les diodes PIN. Dans cette étude, on va utiliser le CST comme un simulateur EM pour concevoir un diviseur de Gysel reconfigurable en fréquence. Le concept proposé montre qu'en ajoutant des stubs à un diviseur de Gysel conventionnel, ce qui permet d'améliorer leurs caractéristiques en termes des coefficients de réflexion dans chaque port, l'isolation entre les ports de sortie.

Ce mémoire est organisé comme suit

Dans le premier chapitre, nous passerons en revue Etat de l'art sur les diviseurs de Gysel.

Le deuxième chapitre est consacré pour la reconfigurabilité des diviseurs de Gysel

Dans le troisième chapitre, une étude paramétrique d'un diviseur de Gysel sera faite.

Le quatrième chapitre est consacré pour l'optimisation d'un diviseur Gysel reconfigurable pour les applications WLAN à l'aide du simulateur CST.

À la fin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale et quelques perspectives pour les travaux au futur.

# CHAPITRE I

## Etat de l'art d'un diviseur de Gysel

---

## Introduction

Les diviseurs de puissance (sont aussi des combineurs de puissance) sont utilisés dans de nombreux circuits, notamment les mélangeurs, les amplificateurs équilibrés et les circuits d'alimentation des antennes. Les performances des coupleurs déterminent largement celles des circuits réalisés (bande de fréquence, isolation, etc.). Ces composants sont généralement très limités par les contraintes liées à la technologie de fabrication des circuits. En particulier, les diviseurs utilisés à des fréquences micro-ondes sont généralement des structures passives. Généralement, les circuits passifs en technologie planaire sont considérés comme des éléments réciproques avec des ports adaptés afin d'atteindre des applications performantes. Les nouvelles innovations des diviseurs planaires résident dans la conception des diviseurs de taille réduite (configuration physique) avec une intégration facile sur les applications envisagées.

Le diviseur de puissance est un périphérique connu à trois ports, et très important pour les applications micro-ondes et radio fréquences (RF), qui peut être largement utilisé dans les amplificateurs de puissance équilibrés, les systèmes radar et les déphaseurs.

Gysel une topologie alternative à Wilkinson utilisée lors de la conception d'un répartiteur/combinateur de puissance en phase, en particulier si vous avez besoin d'une puissance élevée sur une petite plage de fréquences.

Le GPD sont des circuits hyperfréquences en forme de rectangle. Les côtés courts du rectangle sont des lignes quartes d'onde et les côtés longs sont des lignes demi-onde. Le diviseur de puissance à 2 voies est constitué de 5 ports : une entrée, deux sorties et deux ports chargés.

En mode diviseur, le signal d'entrée est divisé de manière égale en phase et en amplitude entre la sortie. Les charges contrôlent l'isolation entre les sorties.

En mode combineur, les deux entrées se combinent dans la sortie. Dans ce cas, les charges gèrent toujours l'isolation entre les entrées, empêchant une source d'entrée d'endommager l'autre. De plus, les charges absorbent également tout déséquilibre (phase et/ou amplitude) entre les signaux d'entrée.



par une zone pointillée dans la Figure 1 (réseau d'isolation) est équivalente à la résistance d'isolement dans le WPD pendant l'analyse en mode pair-impair.

Le diviseur de puissance est largement adopté pour divers micro-ondes applications telles que les réseaux d'alimentation d'antennes et les amplificateurs. Parce que le coupleur hybride de dérivation fonctionnant dans une simple division de puissance, il faut un port supplémentaire, des diviseurs de puissance sont plus couramment utilisés.

Le diviseur de puissance est un dispositif passif important [3]. GPD est célèbre pour sa capacité de gestion de la puissance en réglant des charges d'isolation, qui peuvent être des résistances de haute puissance et se connecter à la dissipation thermique [4]

Cependant, la complexité du réseau d'isolement a conduit à une bande passante étroite. Plusieurs GPD à large bande ont été proposés au fil des ans. Remplaçant la ligne de transmission à  $180^\circ$  dans le GPD conventionnel, des lignes couplées ont été proposées pour étendre la bande passante dans [5] et [6].

Un GPD large bande de deux ordres a été rapporté dans [7] en optimisant une fonction d'erreur avec valeurs initiales des largeurs et longueurs de bandes indépendantes variables. Pour obtenir une large bande passante d'isolation, une correspondance supplémentaire des points ont été importés dans [8] pour concevoir la puissance de Wilkinson diviseur, qui peut être utilisé comme référence dans le GPD à large bande. La division de puissance est largement adoptée pour divers micro-ondes applications telles que les réseaux d'alimentation d'antennes et les amplificateurs [9]. Parce que le coupleur hybride de dérivation fonctionnant dans une simple division de puissance, il faut un port supplémentaire, des diviseurs de puissance sont plus couramment utilisés. De plus, le diviseur de puissance Gysel présente les avantages d'une capacité de gestion de puissance élevée en raison des résistances d'isolement externes et de la surveillance capacité de déséquilibres aux ports de sortie [10]. Structure avec des caractéristiques négatives de retard de groupe (NGD) a été utilisé pour améliorer l'efficacité des amplificateurs prédictifs [11].

Habituellement, le décalage temporel entre l'enveloppe et le RF les chemins dans les amplificateurs de puissance modulés en alimentation diminueront linéarité et

provoquer une instabilité [12]. Diviseurs de puissance NGD peut être utilisé pour compenser le retard de groupe par différents voies de transmission dans l'amplificateur de puissance modulé en alimentation. Cependant, un seul port de sortie de ces diviseurs de puissance a les caractéristiques NGD et souffre de perte d'insertion (IL) très élevée, supérieure à 15 dB.

## I.2 Nouveaux diviseurs de Gysel avec groupe négatif caractéristiques de retard

Un nouveau diviseur de puissance Gysel avec un retard de groupe négatif (NGD), une bonne adaptation et une faible perte d'insertion est proposé. Résistances connectés avec des lignes couplées en court-circuit (RCSCCL) sont shuntés aux ports de sortie du diviseur de puissance Gysel pour obtenir NGD caractéristiques, et une autre résistance est shuntée au niveau du port d'entrée pour réaliser une parfaite correspondance d'entrée et de sortie. Pour vérifier la structure proposée, un diviseur de puissance NGD Gysel est conçu et fabriqué. A la fréquence centrale de 1,0 GHz, la valeur mesurée Les temps NGD pour différents ports de sortie sont de  $-1,94$  ns et  $-1,97$  ns, la perte de retour du port d'entrée/sortie est supérieure à 38 dB.

La perte d'insertion est inférieure à 8,3 dB et l'isolation entre les ports de sortie est supérieure à 41 dB. Pour améliorer la bande passante NGD, deux Les réseaux RCSCCL ayant des fréquences centrales légèrement différentes sont connectés en parallèle, ce qui offre une bande passante plus large avec une bonne caractéristique de correspondance d'entrée [13]

## I.3 Théorie de la conception

Le schéma du diviseur de puissance NGD Gysel proposé est illustré à la figure 1. Il est basé sur le Gysel classique diviseur de puissance, composé de lignes de transmission (TL) à deux sections avec l'impédance caractéristique de  $Z_{01}$  et la longueur électrique de  $\theta$ , des TL à deux sections avec des impédance caractéristique de  $Z_{02}$  et même longueur électrique de  $\theta$ , et un TL avec l'impédance caractéristique de  $Z_{03}$  et la longueur électrique de  $2\theta$ . Et ses ports de sortie sont, respectivement, shunté par une résistance R1 reliée à court-circuit lignes couplées (RCSCCL) pour réaliser les caractéristiques NGD. Quoi de plus, toutes les résistances sont mises à la terre directement où

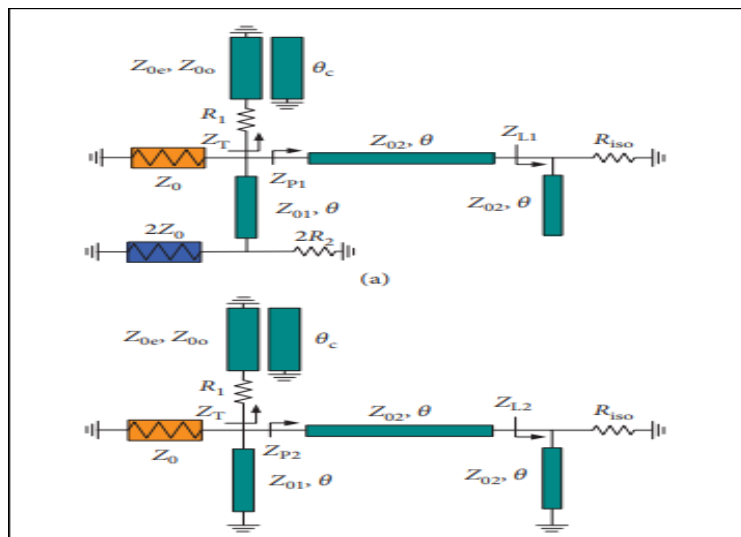


Figure I.2 : Configuration de la puissance NGD diviseur. (a) Mode pair. (b) Mode impair

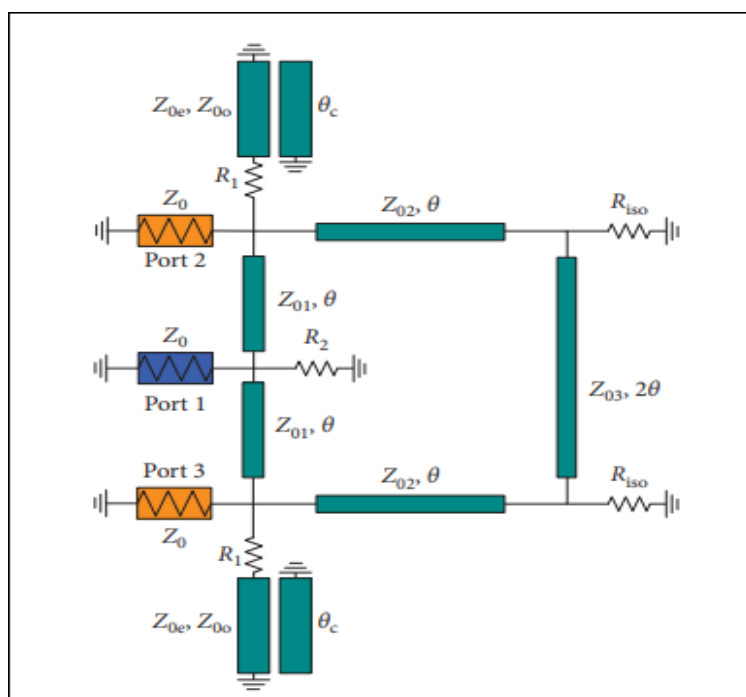


Figure I.3 : Circuits équivalents de la puissance NGD Gysel proposée

Mis à la terre par les lignes couplées, ce qui rend la chaleur adéquate enfoncement des résistances possible ; ainsi, le facteur de limitation de puissance principal causé

par les résistances sera diminué significativement, et c'est mieux que la puissance de Wilkinson diviseur avec une capacité de gestion de puissance de 100 watts onde continue [14]. +e les lignes couplées en court-circuit ont une impédance caractéristique équivalente de  $Z_c$  et électrique longueur de  $\theta_c$ .  $Z_{0e}$  et  $Z_{0o}$  sont respectivement les impédances paires et impaires des lignes couplées, qui peuvent être exprimé comme. :

$$Z_c = \frac{2Z_{0e}}{\frac{Z_{0e}}{Z_{0o}} - 1} = Z_{0e} \frac{1-k}{k} = Z_{0e} \frac{1+k}{k} \quad (1)$$

où k est le facteur de couplage des lignes couplées. De plus, une résistance  $R_2$  en parallèle avec le port d'entrée est ajoutée à réaliser une adaptation parfaite avec l'impédance du port  $Z_0$ . le circuits équivalents en mode pair et impair sont illustrés à la **Figure I.2**. La matrice ABCD du circuit en mode pair est dérivée Comme :

(2a)

Avec :

$$Z_T = \frac{R_{T1} + jkZ_c + \cot \theta_c k}{\cot^2 \theta_c - k^2 \csc^2 \theta_c} \quad (2b)$$

$$Z_{P1} = \frac{Z_{02}(Z_{L1} + jkZ_{02} \tan \theta)}{Z_{02} + jZ_{L1} \tan \theta} \quad (2c)$$

$$Z_{L1} = \frac{R_{ISO} + (-jZ_{03} \cot \theta)}{R_{ISO} - jZ_{03} \cot \theta} \quad (2d)$$

Les éléments de matrice ABCD normalisés sont obtenus comme :

$$a = \frac{A}{\sqrt{2}} = \frac{\left\{ \cos \theta + jZ_{01} \sin \frac{\theta}{Z_{ZT}} + jZ_{01} \sin \frac{\theta}{Z_{P1}} \right\}}{\sqrt{2}} \quad (3a)$$

$$b = \frac{B}{\sqrt{2} Z_0} = \frac{jZ_{01} \sin \theta}{\sqrt{2} Z_0}$$

$$(3b) \quad c = \sqrt{2} Z_0 C = \sqrt{2} Z_0$$

$$\left\{ \frac{\cos \theta}{2R_2} + \frac{j \sin \theta}{Z_{01}} + \frac{\cos \theta}{Z_T} + \frac{\cos \theta}{Z_{P1}} + \frac{jZ_{01} \sin \theta}{2R_2 Z_T} + \frac{jZ_{01} \sin \theta}{2R_2 Z_{P1}} \right\} \quad (3c)$$

$$d = \sqrt{2} D = j\sqrt{2} Z_{01} \frac{\sin \theta}{2R_2} + \sqrt{2} \cos \theta$$

(3d)

les paramètres S normalisés du mode pair peuvent être exprimé comme :

$$S_{11e} = \frac{a+b-c-d}{a+b+c+d} \quad (4a)$$

$$S_{22e} = \frac{-a+b-c+d}{a+b+c+d} \quad (4b)$$

$$S_{21e} = S_{12e} = \frac{2}{a+b+c+d} \quad (4c)$$

En se référant à la figure 2(b), les paramètres S du mode impair peut être exprimé comme :

$$S_{22o} = \frac{Z_Q^- - Z_0}{Z_Q^+ - Z_0} \quad (5a)$$

Avec :

$$Z_Q = \frac{\left( \frac{Z_T Z_{P2}}{Z_T + Z_{P2}} \right) jZ_{01} \tan \theta}{\left( \frac{Z_T Z_{P2}}{Z_T + Z_{P2}} \right) + jZ_{01} \tan \theta} \quad (5b)$$

$$Z_{P2} = \frac{Z_{02} (Z_{L2} + jZ_{02} \tan \theta)}{Z_{02} + jZ_{01} \tan \theta} \quad (5c)$$

$$Z_{L2} = \frac{R_{ISO} (jZ_{03} \tan \theta)}{R_{ISO} + jZ_{03} \tan \theta} \quad (5d)$$

puis, les paramètres S du NGD Gysel proposé diviseur de puissance peut être calculé en utilisant les paramètres de diffusion en mode pair et impair comme :

$$S_{11} = S_{11e'} \quad (6a)$$

$$S_{21} = S_{31} = S_{13} = S_{12} = \frac{S_{21e}}{\sqrt{2}}, \quad (6b)$$

$$S_{22} = S_{33} = \frac{S_{22e} + S_{22o}}{2} \quad (6c)$$

$$S_{23} = S_{32} = \frac{S_{22e} + S_{22o}}{2} \quad (6d)$$

En appliquant la longueur électrique dépendante de la fréquence de  $\theta = \theta_c = \pi f / (2f_0)$ , le retard de groupe (GD)  $\tau$  de la proposition, Le diviseur de puissance NGD Gysel peut être obtenu comme :

$$\tau = \tau_{21} = \tau_{31} = \frac{d\angle S_{21}(f)}{d\omega} = \frac{d\angle S_{31}(f)}{d\omega} \quad (7)$$

Pour une parfaite adéquation de tous les ports d'entrée/sortie et isolation infinie entre deux ports de sortie à  $f_0$  on trouve les relations suivantes a :

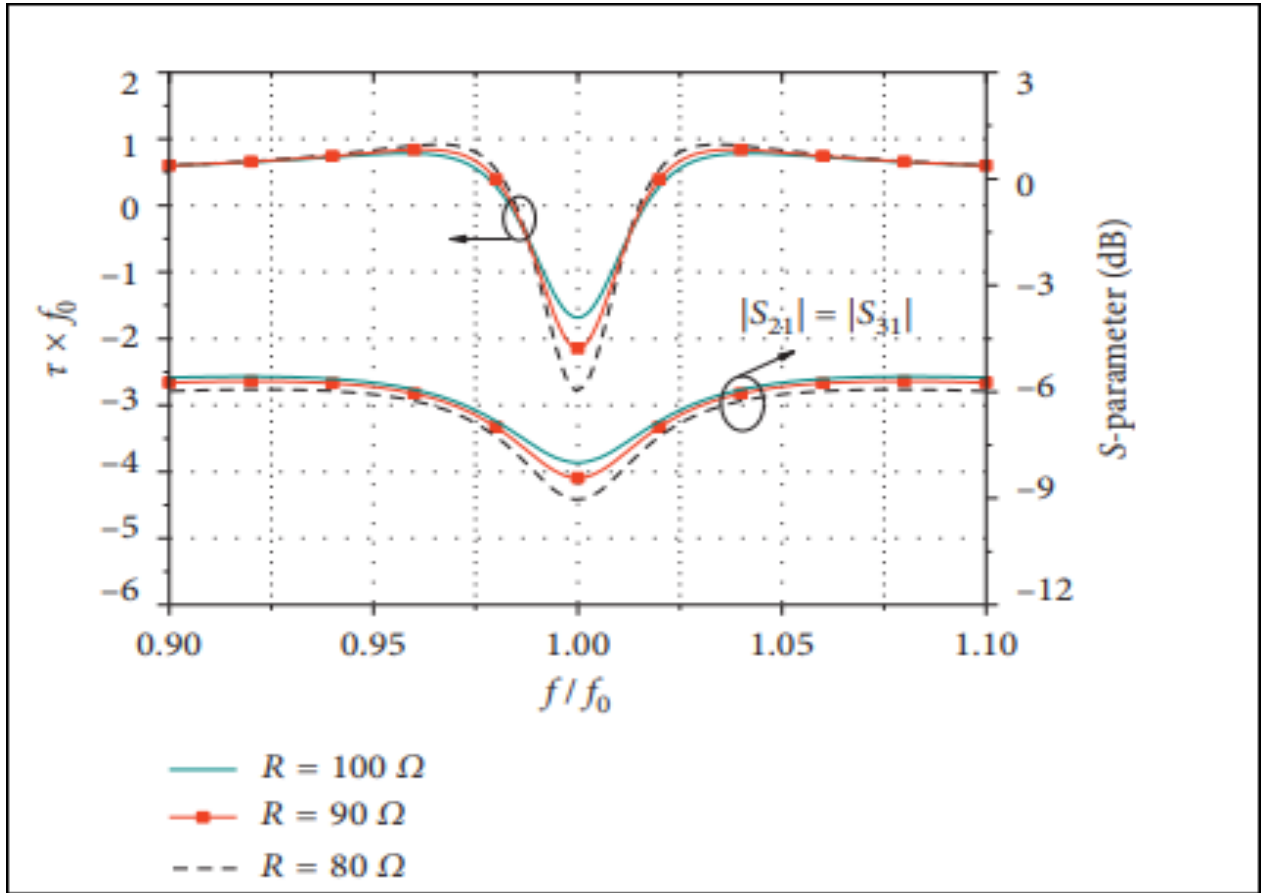


Figure I.4 : Effet de R sur l'IL et  $\tau \times \tau \times f_0$  du NGD proposé diviseur de puissance.

$$R_2 = R_1, \quad (8)$$

$$Z_{01} = Z_0 \sqrt{\frac{2R_1R_2}{R_1R_2 - Z_0^2}}, \quad (9)$$

$$Z_{iso} = \frac{(R_1 - Z_0)Z_0^2}{Z_0R_1} \quad (10)$$

De plus, l'amplitude du coefficient de transmission et retard de groupe du diviseur de puissance NGD Gysel proposé à  $f_0$  sont, respectivement, trouvés comme (11) et (12) en supposant  $R_1 = R_2 = R$

$$|S_{21}(f_0)| = |S_{31}(f_0)| = \frac{2Z_0Z_{01}R^2}{Z_{01}^2(Z_0R + R^2 + Z_0^2Z_0R) + 2Z_0^2R^2}$$

On peut trouver à partir de (8), (9) et (11), la grandeur de

le coefficient de transmission (c'est-à-dire IL) n'est contrôlé que par R. et (9) et (12) impliquent que R, k,  $Z_c$ ,  $Z_{02}$ , et  $Z_{03}$  avoir des effets sur GD.

$$\tau_{21} |_{f=f_0} = \tau_{31} |_{f=f_0}$$

$$= \frac{\{-3 Z_0 Z_{01} Z_{02}^2 R^3 k + Z_0 Z_{01}^2 Z_{02}^2 R Z_c - Z_0 Z_{01}^2 (Z_{02} + Z_{03}) R^3 k - Z_0^2 Z_{01} Z_{02}^2 R^2 k + Z_0^2 Z_{01}^2 Z_{02}^2 Z_c - 2 Z_0^2 Z_{01} Z_{02}^2 R^2 k - Z_0^2 Z_{01}^2 (Z_{02} + Z_{03}) R^2 k\}}{4 f_0 Z_{02}^2 k (Z_0 Z_{01}^2 R^2 + Z_{01}^2 R^3 + 2 Z_0^2 R^3 + Z_0^2 Z_{01}^2 R + Z_0 Z_{01}^2 R^2)}$$

La Figure I.3 donne les effets de R sur IL et  $\tau \times f_0$  du diviseur de puissance NGD Gysel proposé avec  $Z_{02} = 100 \Omega$ ,  $Z_{03} = 100 \Omega$ ,  $k=0,17$  et  $Z_c = 550 \Omega$ . On peut observer que la valeur absolue maximale du temps NGD à  $f_0$  augmente lorsque R diminue de 100 à 80  $\Omega$ , mais IL augmente également. il y a donc un compromis entre l'IL et heure NGD

Figure I.4 montre le  $\tau \times f_0$  calculé du diviseur de puissance NGD Gysel proposé avec  $Z_{02} = 100 \Omega$ ,  $Z_{03} = 100 \Omega$ ,  $R=91 \Omega$  Comme le montre la figure 4(a) pour les  $Z_c = 550 \Omega$ , la valeur absolue du temps NGD à  $f_0$  augmente lorsque k diminue de 0,19 à 0,15. Cependant, la bande passante NGD (c'est à-dire la bande passante pour GD inférieure à 0 ns) sera diminuée. Similairement,  $Z_c$  augmenté

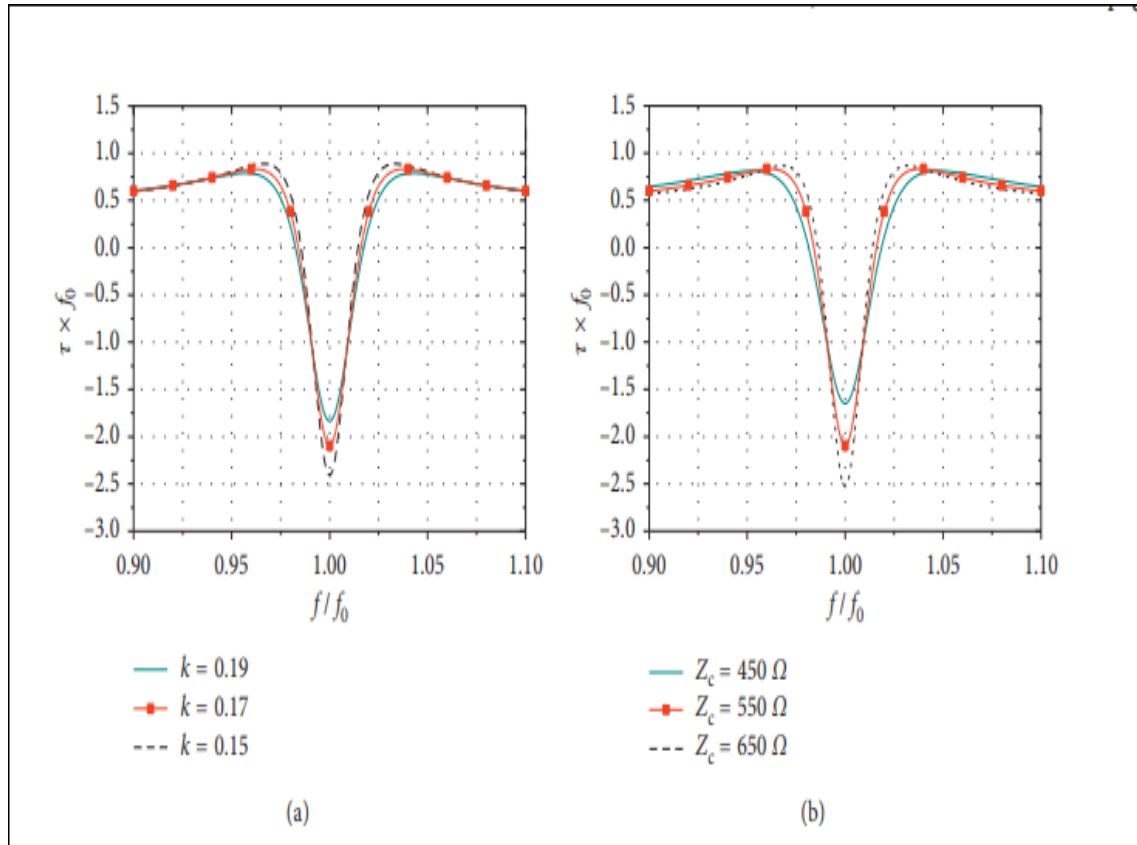


Figure 1.5 : Effet des lignes couplées sur  $\tau \times f_0$  du diviseur de puissance NGD proposé : (a)  $k$ . (b)  $Z_c$

temps mais une bande passante NGD plus étroite, qui peut être vue de Figure 4(b). Il y a donc un compromis entre valeur absolue maximale du temps NGD et du temps NGD bande passante. Comme le montre la figure 5(a), la valeur absolue du temps NGD et la bande passante NGD sera améliorée lorsque  $Z_{02}$  est augmenté. Mais il y a une légère amélioration du temps NGD et la bande passante lorsque  $Z_{02}$  est supérieur à  $100 \Omega$ . Figure 5(b) montre que  $Z_{03}$  influence légèrement les caractéristiques NGD

#### I.4 Diviseur de Gysel avec des lignes de transmission doubles composites

L'auteur dans son article [15] présente un diviseur de Gysel avec de nouvelles lignes composites à double transmission. La ligne proposée se compose d'une ligne sérielle directe et deux lignes de transmission identiques connectées par un condensateur localisé en série.

La ligne est analysée avec une méthode d'analyse en mode pair-impair pour avoir des équations de conception de forme fermée simples.

À partir des équations de conception, on observe également que l'on peut maintenir une valeur plus réalisable de la l'impédance des lignes et obtenir une bonne quantité de miniaturisation en ajustant uniquement l'impédance groupée condensateur. Pour vérifier cette technique, un diviseur de puissance Gysel miniaturisé à 74,6 % (GPD) est conçu à 0,95 GHz par rapport au GPD de référence. La taille physique du GPD proposé est de 60 mm × 32 mm (équivalant à  $0,25\lambda_g \times 0,13\lambda_g$ ,  $\lambda_g$  est la ligne de longueur d'onde guidée). De plus, deux zéros de transmission ( $TZ_c$ ) sont obtenus près de la bande passante qui améliorent les performances hors bande.

### I.5 ANALYSE DE LIGNE DE TRANSMISSION DOUBLE COMPOSITE (CDTL)

La figure 1(a) montre le modèle de ligne de transmission (TL) de la ligne proposée. La ligne se compose de deux TL. L'une est une ligne série directe ayant une impédance caractéristique ( $Z$ ) et une longueur électrique ( $2\theta$ ), et l'autre TL est composé de deux lignes en série identiques d'impédance caractéristique ( $Z$ ) et de longueur électrique ( $\theta$ ) connecté par un condensateur série ( $C$ ). L'impédance caractéristique des TL est choisie pour être la simplicité de conception. La ligne proposée est équivalente à une ligne quart d'onde conventionnelle ( $\theta_0 = 90^\circ$ ) d'impédance caractéristique ( $Z_0$ ) comme indiqué sur la Fig. 1(b). La ligne proposée est symétrique autour du plan p-p, et donc la structure est analysée par une analyse en mode pair-impair.

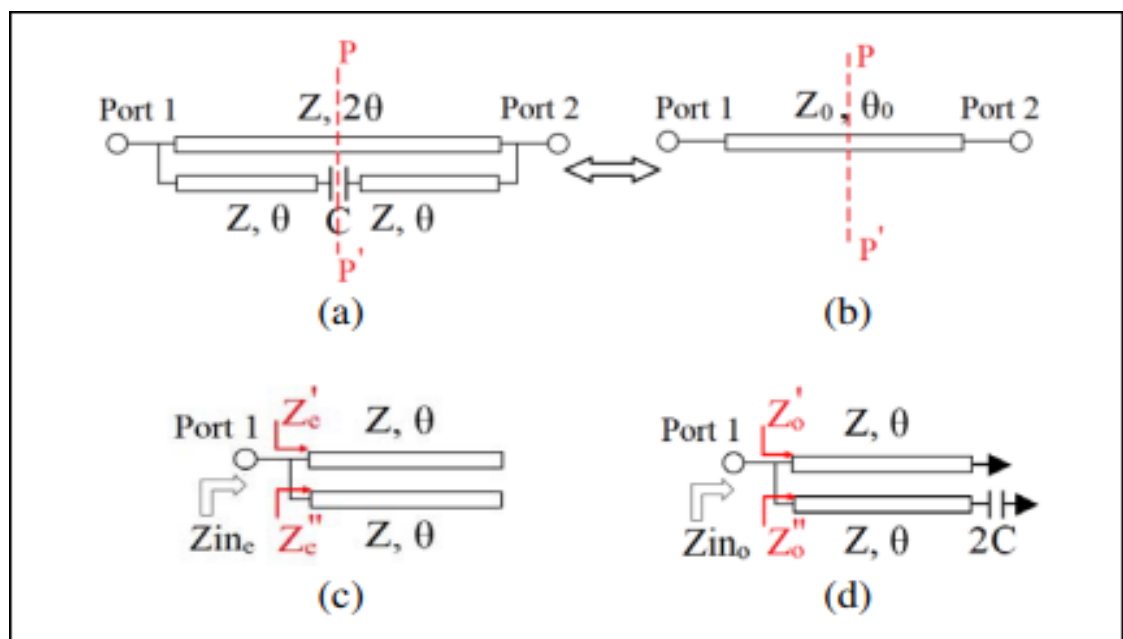


Figure I.6 : Ligne conventionnelle et proposée : (a) Proposée, (b) conventionnelle, (c) mode pair, (d) impair mode.

Dans cette partie, un nouveau diviseur de puissance Gysel avec NGD Caractéristiques ont été proposées, qui peuvent être facilement synthétisées avec le temps NGD et IL prescrits. Les résultats d'analyse montrent qu'une résistance shuntée à l'entrée Le port peut être utilisé pour réaliser une correspondance parfaite, IL est contrôlé par la valeur de résistance. De plus, un plus grand le facteur de couplage  $k$  des lignes couplées se traduit par une Bande passante NGD, et une caractéristique équivalente plus grande l'impédance  $Z_c$  conduit à une plus grande valeur absolue de NGD temps. Pour améliorer la bande passante NGD, une puissance Gysel diviseur avec des réseaux RCSCCL connectés en parallèle a également été présenté dans cet article. Les diviseurs de puissance NGD proposés ont un bon RL, une isolation élevée et une large bande passante, qui peut être appliqué pour compenser le retard de groupe dans les systèmes à micro-ondes.

## I.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, une étude théorique de diviseur de Gysel a été présentée avec une analyse en deux modes pair et impair de ce composant RF.

On a vu quelques exemples concernant les diviseurs de Gysel les plus utilisés dans le domaine RF et microondes.

Dans le chapitre suivant, on va voir un état de l'art sur la reconfigurabilité des diviseurs de Gysel.



# Chapitre II

## LA RECONFIGURABILITE DANS UN DIVISEUR DE GYSEL

---

### II.1 Introduction

Les diviseurs/combinateurs de puissance RECONFIGURABLES sont utilisés pour les amplificateurs de puissance à haut rendement [16], [17] et les antennes de formation de faisceaux reconfigurables [18], [19]. Quant au plus haut mode puissance, deux amplificateurs de puissance ou plus sont généralement combinés avec des diviseurs de puissance et des combineurs pour une puissance de sortie élevée ; tandis qu'en mode basse consommation, l'efficacité des amplificateurs de puissance est très faible. Pour réduire la consommation de courant continu à faible puissance mode, une approche est que certains des amplificateurs de puissance sont tournés des diviseurs/combinateurs de puissance désactivés et reconfigurables sont utilisés à la place des diviseurs/combinateurs de puissance conventionnels pour une adaptation reconfigurable en mode haute puissance et en mode basse puissance mode [16], [17]. De plus, des diviseurs/combinateurs de puissance reconfigurables peuvent être utilisés pour la formation de faisceau reconfigurable [18], [19]. Avec différents états fournis par des diviseurs de puissance reconfigurables/ combineurs, différentes antennes peuvent être sélectionnées et combinées de manière que la formation de faisceau reconfigurable peut être obtenue.

Ainsi, sur la base de divers états, les diviseurs/combinateurs de puissance reconfigurables peuvent être mis en œuvre avec différentes applications dans des systèmes de communication.

Dans les diviseurs/combinateurs de puissance reconfigurables, reconfigurables réseaux de transformateurs d'impédance (RITN) et éléments de commutation sont les éléments clés pour obtenir différentes transmissions États. Les RITN sont nécessaires pour la mise en œuvre de différentes adaptations d'impédance car l'impédance d'entrée est modifiée par chaque mode de transmission, tandis que les éléments de commutation sont souhaités contrôler le signal qui est transmis ou isolé pour chaque port. Certains diviseurs/combinateurs de puissance reconfigurables ont été proposés sur la base de diverses conceptions de structure. Dans [20], un bidirectionnel un diviseur/combinateur de puissance reconfigurable a été proposé avec la structure de coupleur de lignes couplées reconfigurable. À travers états différents de deux interrupteurs, le coupleur de ligne couplé peut fournir des impédances reconfigurables appropriées correspondant sur modes différents. La structure hybride dans [21] a été utilisée à la place du coupleur de ligne couplé car une grande différence de les impédances en mode impair et en mode pair dans une ligne couplée coupleur était nécessaire. Une structure de condensateur avec un p-i-n Le commutateur à diode a été proposé dans [22] pour la réalisation d'un réseau d'adaptation d'impédance reconfigurable. Cependant, le parasite les paramètres de la diode p-i-n n'ont pas été pris en compte et le

condensateur localisé était nécessaire pour l'adaptation. Récemment, un diviseur de puissance reconfigurable à quatre voies par unipolaire double commutateurs de lancement (SPDT) dans [23] a été conçu. La perte de retour des ports de sortie et les isolements entre les ports de sortie ne sont pas bons car il n'y a pas de résistance d'isolement de sorte que cette alimentation à quatre voies diviseur ne peut pas être utilisé comme combineur de puissance.

### II.2 La reconfigurabilité dans les diviseurs de puissance

Les diviseurs et combineurs power sont largement utilisés dans divers systèmes de communication micro-ondes [24] – [25]. Des diviseurs et combineurs de puissance reconfigurables ont été utilisés dans amplificateurs de puissance pour améliorer l'efficacité [26], dans les antennes pour réaliser des motifs reconfigurables [27], [28], et en diversité application pour obtenir un rapport signal sur bruit plus fort [29]. Plusieurs diviseurs de puissance reconfigurables ont été mis en œuvre avec différentes structures. La structure de ligne couplée [30] et la structure de condensateur localisée [31] ont été utilisées pour des réalisations de diviseurs de puissance reconfigurables bidirectionnels. Récemment, un diviseur de puissance reconfigurable à trois voies dans [32] a été proposé avec adaptation réactive interne des diodes p-i-n, dans laquelle sept des états avec trois modes de transmission (mode à trajet unique, mode à deux trajets et mode à trois trajets) ont été fournis.

En général, un diviseur de puissance reconfigurable à  $N$  voies ( $N \geq 4$ ) peut être réalisé en connectant ces deux et trois voies reconfigurables diviseurs de puissance en cascade. Avec le  $N$ -way reconfigurable diviseur de puissance,  $N$  différents modes de transmission peuvent être réalisés et  $2^N - 1$  états avec différents ports de sortie sélectionnés comme ports de transmission peuvent être obtenus. Cependant, en utilisant des diviseurs de puissance reconfigurables à deux et trois voies en cascade, de nombreux des commutateurs et des réseaux d'adaptation reconfigurables sont nécessaires. Par exemple, un diviseur de puissance reconfigurable à quatre voies illustré sur la Fig. 1 est réalisé par trois alimentations reconfigurables bidirectionnelles diviseurs dans [33], [34] et [35]. Depuis cinq et six commutateurs sont requis dans [36], et [37] et [38], respectivement, le diviseur de puissance reconfigurable à quatre voies illustré à la **Fig. 1** nécessite au moins 15 interrupteurs. Pour réduire le nombre de commutateurs, un un diviseur de puissance reconfigurable à quatre voies dans [39] a été proposé et seulement sept commutateurs unipolaires bidirectionnels (SPDT) étaient nécessaires. Cependant, la perte de retour des ports de sortie et les isolations entre les ports de sortie dans [40] n'étaient pas bonnes, car il n'y avait pas de résistances d'isolement, de sorte que cette alimentation à quatre voies diviseur ne peut pas être utilisé comme combineur de puissance. De

plus, avec une alimentation reconfigurable à deux et trois voies diviseurs en cascade, certains modes de transmission dans une voie N le diviseur de puissance reconfigurable ne peut pas être réalisé avec la même division de puissance pour les ports de transmission. Par exemple, avec le diviseur de puissance reconfigurable à quatre voies illustrées à la **Figure II.1**, égal la division de puissance pour les ports de transmission peut être facilement obtenue en mode deux voies et en mode quatre voies. Cependant, dans mode de transmission à trois voies (si le port 1, le port 2 et le port 3 sont sélectionnés comme ports de transmission et le port 4 est comme isolement port), les diviseurs de puissance reconfigurables bidirectionnels A1 et A2 fonctionnent en mode de transmission à deux voies

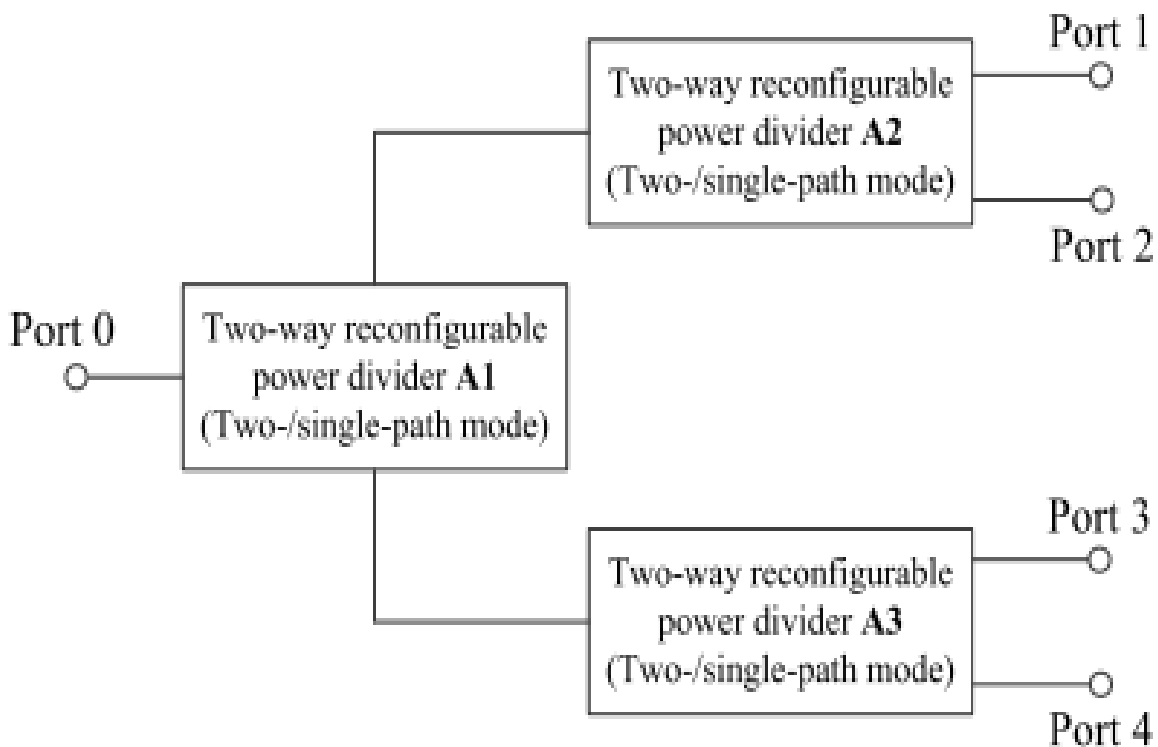


Figure II.1 : Réalisation classique d'un diviseur de puissance reconfigurable à quatre voies en utilisant trois diviseurs de puissance reconfigurables bidirectionnels connectés en cascade.

### II.3 Techniques utilisées pour faire la reconfigurabilité dans les antennes

Les antennes reconfigurables ont récemment attiré beaucoup d'attention dans les systèmes de communication sans fil. La demande d'antenne reconfigurable a considérablement augmenté depuis une décennie. La mise en forme reconfigurable du faisceau est idéale pour la détection de petites et grandes cibles à courte et longue portée, y compris lorsque l'antenne est montée sur une haute tour ou à flanc de colline [41-42]. Les antennes reconfigurables sont magnifiques pour de nombreuses

applications de communication militaires et mobiles où il est nécessaire d'avoir une seule antenne qui peut être reconfigurée dynamiquement pour transmettre ou recevoir sur la même ou plusieurs bandes de fréquences [43].

Il est avantageux d'intégrer la fonctionnalité de mise en forme du faisceau dans les systèmes afin de pouvoir varier vigoureusement les formes du faisceau dans de nombreuses applications telles que le radar d'avion, la protection contre les armes intelligentes et la communication point à point. Dans [44], Rainee N. et al, ont présenté des antennes reconfigurables, qui ont été rayonnées à différents modèles de faisceau en ajustant les ouvertures et en maintenant leurs fréquences de fonctionnement. L'antenne présentée dans [45] décrit une antenne dipôle bi-bande intégrée avec des commutateurs MEMS. Cependant, cette méthode utilisait généralement une double fréquence de fonctionnement pour reconfigurer un motif de faisceau. Les antennes suggérées dans [46-47] ont été travaillées à deux fréquences de fonctionnement avec un diagramme de rayonnement reconfigurable. Les travaux réalisés présentés dans cet article décrivent et analysent l'antenne patch microruban d'alimentation d'entreprise reconfigurable incorporée avec une diode PIN en tant que commutateur RF. Le mécanisme de commutation est contrôlé par la tension continue externe. Deux commutateurs sont utilisés pour réaliser l'antenne avec une mise en forme de faisceau commutable à une fréquence constante de 5,8 GHz. Les performances de l'antenne telles que la perte de retour d'entrée, la bande passante, la largeur de faisceau à mi-puissance (HPBW) et les diagrammes de rayonnement ont été obtenues à l'aide de la technologie de simulation informatique (CST) Studio Suite.

### II.4 Les Diodes PIN

#### II.4.1 Caractéristiques importantes d'une diode PIN

La diode PIN est un dispositif semi-conducteur qui présente plusieurs caractéristiques importantes telles que

- Une diode PIN fonctionne comme une résistance variable en RF. La valeur de la résistance varie, de 1  $\Omega$  à 10 k $\Omega$  (OFF), en fonction de la quantité de courant qui s'écoule à travers elle.
- La diode a une région I légèrement dopée, ce qui permet d'avoir une longue durée de vie, une tension de claquage élevée, vitesse de commutation élevée.
- Au contraire à la diode varactor qu'est contrôlée en tension, la diode PIN est contrôlée par un courant de commande.

- Lorsque le courant de commande est varié alternativement, la diode PIN peut être utilisée pour la modulation d'amplitude d'un signal RF.
- La valeur du temps de recouvrement  $T_R$  peut être calculée, à partir du courant direct  $I_F$ , du courant inverse initial  $I_R$ , et de la durée de vie des porteurs  $\tau$ , de la manière suivante

### II.4.2 Avantages et inconvénients d'une diode PIN

Comme tous les autres commutateurs, la diode PIN présente plusieurs avantages et inconvénients

#### a) Avantages

- ✓ Les diodes PIN ont une tension de claquage élevée : la largeur de la zone intrinsèque est plus épaisse. Ainsi, elle est adaptée pour la protection des circuits d'un courant important.
- ✓ Les diodes PIN ont une capacité de faible valeur et une faible résistance à l'état passant en RF: la largeur de la couche intrinsèque est grande en raison de la capacité de la diode qui est faible.
- ✓ La diode PIN est utilisée en Photon détection; en raison de la grande largeur de la couche intrinsèque, les photons frappant la surface seront plus ce qui augmente de leur tour la génération de la paire électron-trou.
- ✓ La diode PIN est Multifonctionnelle : Elle peut aussi être utilisée comme un atténuateur commandé dans un étage HF, ou comme élément de commutation pour router des signaux HF.
- ✓ Les diodes PIN peuvent supporter des puissances très élevées et consomment peu de puissance de contrôle.

#### b) Inconvénients

L'inconvénient majeur de la diode PIN présenté dans le temps de recouvrement de la diode PIN (passage de l'état passant à l'état bloqué)

- ❖ La diode PIN a des pertes de puissance due au temps de recouvrement inverse.

### II.4.3 MEMS

La structure a été conçue avec le simulateur pleine onde CST Microwave Studio sera fabriqué sur une hauteur de 525 pm substrat de silicium de résistivité, en utilisant le bien établi procédé de fabrication décrit précédemment. Dans cette rubrique la configuration du circuit et sa mise en œuvre dans MEMS technologies sont présentées et discutées.

**Configuration des circuits :** La structure proposée consiste en la cascade de deux coupleurs hybrides en quadrature et un déphaseur accordable, ainsi que esquissé sur la figure

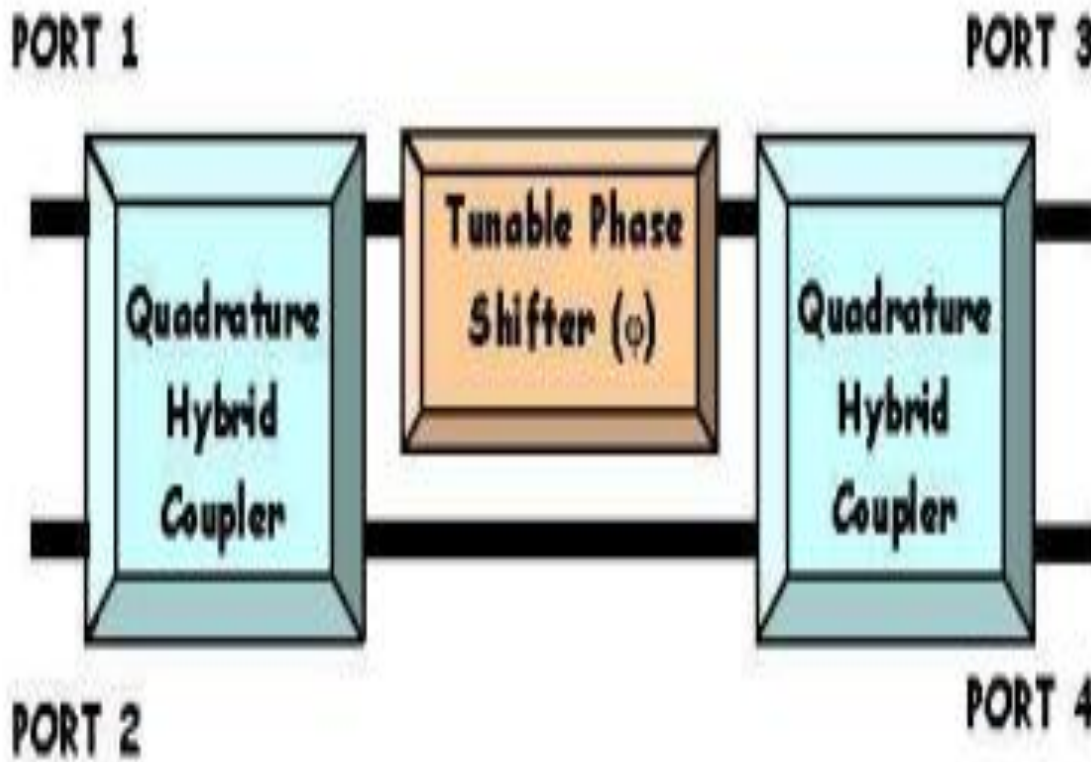


Figure II.2 : Schéma du diviseur de puissance.

**Port 1** is the input port whereas **port 3** and **port 4** are the two output ports; **port 2** is isolated due to the properties of the hybrid coupler. An input signal incident at **port 1** is divided into two output signals  $S_3$  and  $S_4$  with a power ratio depending on the phase shift  $\varphi$  as in equations (1)-(2):

$$S_3 = je^{j\varphi/2} \sin(\varphi/2) \quad (1)$$

$$S_4 = -je^{j\varphi/2} \cos(\varphi/2) \quad (2)$$

En principe, n'importe quelle valeur de rapport de puissance peut être atteinte, de 0:1 ( $\varphi = \pi$ ), puissance d'entrée transmise uniquement au port 3) à 1:0 ( $\varphi = 0$ ) puissance d'entrée transmise uniquement au port 4) en faisant simplement varier la déphasage dans la plage

$0 \div \pi$ . Dans cette configuration, les deux les signaux de sortie ont des phases opposées

$(-\pi/2, \pi/2)$ . Sur le contraire, en supposant que le port 2 est le port d'entrée,

Les deux sorties les signaux sont en phase.

### II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, quelques notions de base liées aux diviseurs de puissance sont présentées. De plus, une étude théorique de diviseurs multi-bandes a été présentée. Après un état de l'art sur les diviseurs de puissance, nous avons présenté une classification de ce composant microonde. La classification était faite suivant plusieurs critères et reconfiguration telles que la bande d'application (reconfiguration fréquentielle), l'insertion des éléments actifs (diode RF) afin d'avoir la reconfigurabilité. Dans le chapitre suivant, nous allons voir quelques types de diviseurs de puissance tels que le diviseur de Wilkinson et Gysel avec leurs domaines d'applications.

# CHAPITRE III

## Etude paramétrique d'un diviseur de Gysel

---

### III.1 Introduction

Dans les deux derniers chapitres, nous avons vu tout ce qui est nouveau sur diviseur de GYSEL Et son importance dans télécommunications, Dans ce chapitre, on va étudier l'effet de quelques paramètres physique et électrique d'un diviseur de puissance de type de GYSEL Suggestion Afin de savoir comment les dimensions physiques du composant affectent la fréquence et la bande passante de fonctionnement. Dans notre travail, on a choisi un outil de simulation très performant présenté dans le CST studio .

### III.2 Etude paramétrique d'un diviseur de Gysel

La forme proposée dans ce chapitre, on va étudier l'effet de quelques paramètres physique et électrique d'un diviseur de puissance de type de GYSEL

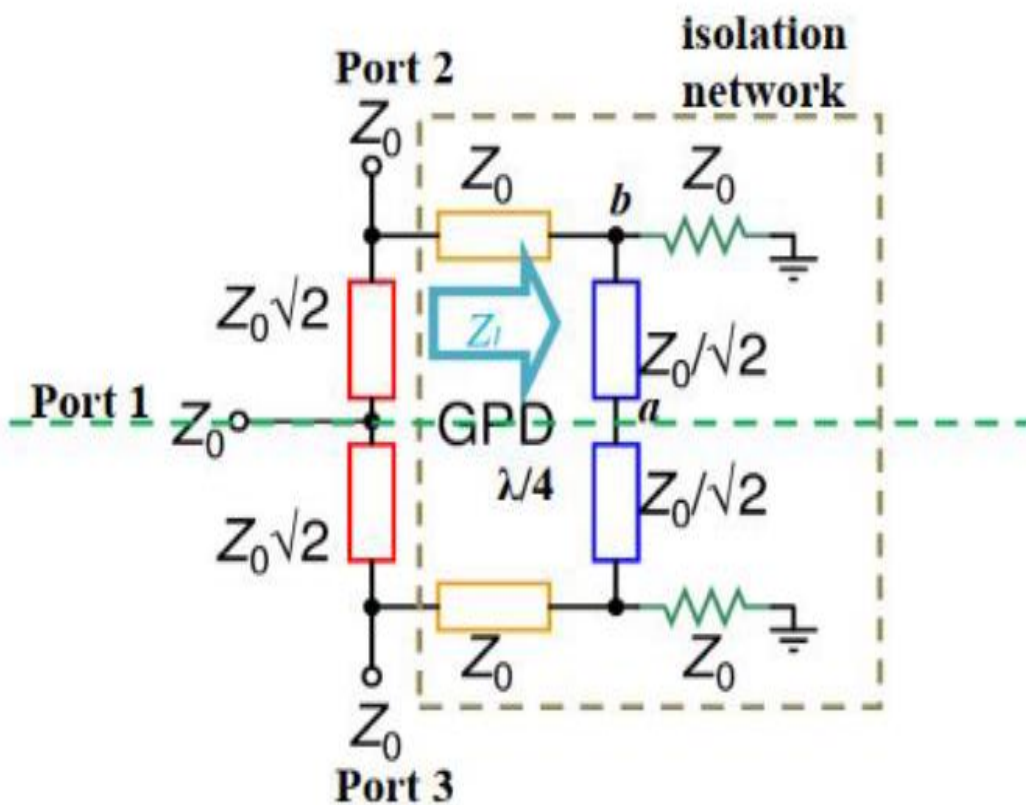


Figure III.1: Un diviseur de puissance de Gysel bidirectionnel d'amplitude égale

### III.2.1 Forme Proposée

Initialement, on a choisi un diviseur/combineur de Gysel proposé par dans []. Ce combineur propose une solution qui permet d'augmenter la bande passante et de même d'augmenter la puissance d'application (High power PD). Sur la Figure III.3 est illustrée une représentation schématique du principe du combineur de Gysel.

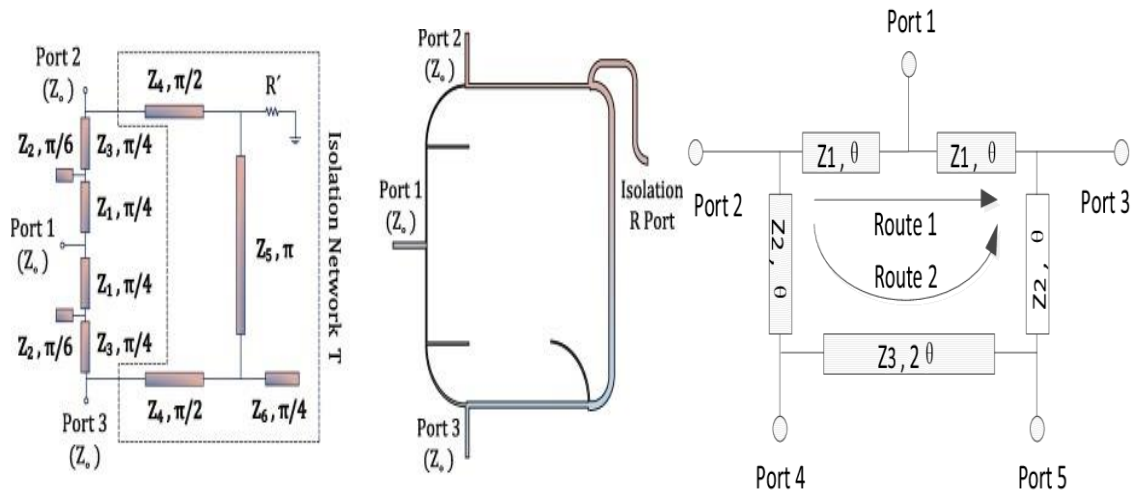
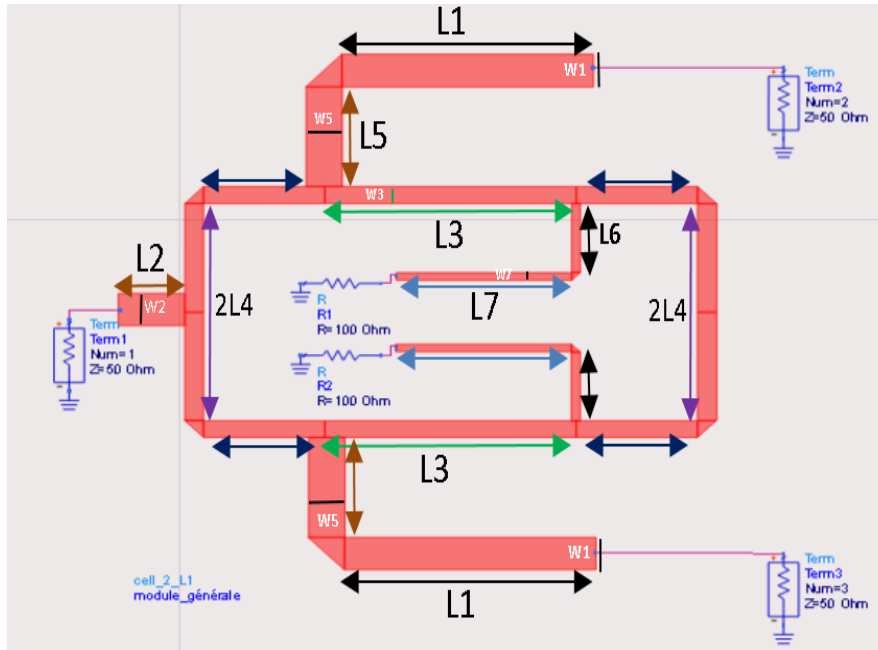


Figure III. 2 : Topologie simple de conception de diviseur de Gysel à 2 ports

Le diviseur de Gysel bi-bande est imprimé sur un substrat diélectrique de la matière FR4 de permittivité  $\epsilon_r=4.3$  et  $\epsilon_r=3.6$  pour un autre exemple. Le conducteur est de cuivre et avec une épaisseur de  $35\mu m$  et présente des pertes  $tg(\delta)=0.0023$ . Chaque diviseur a deux brins : l'un des brins est sous forme de méandre avec une longueur  $L_1= 13.6 mm$  permettant d'accorder le diviseur de puissance sur la bande 1.45-3.558 GHz.

### III.2.2 Géométrie du diviseur

En utilisant le simulateur ADS, le diviseur de Gysel présenté dans la Figure III.3 va prendre le schéma représentatif (layout) illustré dans la Figure III.4.



**Figure III.3 :** Schéma représentatif du diviseur GPD en utilisant le simulateur ADS.

Les différentes dimensions de ce diviseur de Gysel sont tabulées dans le tableau suivant

**Tableau III.1 :** Dimensions d'un diviseur de puissance de Gysel (GPD).

Diviseur de puissance	Paramètre		Valeurs (mm)	
<b>GPD</b>	L1	W1	22.8	3.30
	L2	W2	6	3.30
	L3	W3	22.8	1.70
	L4	W4	11	1.70
	L5	W5	6	3.30
	L6	W6	7	0.79
	L7	W7	15.92	0.79

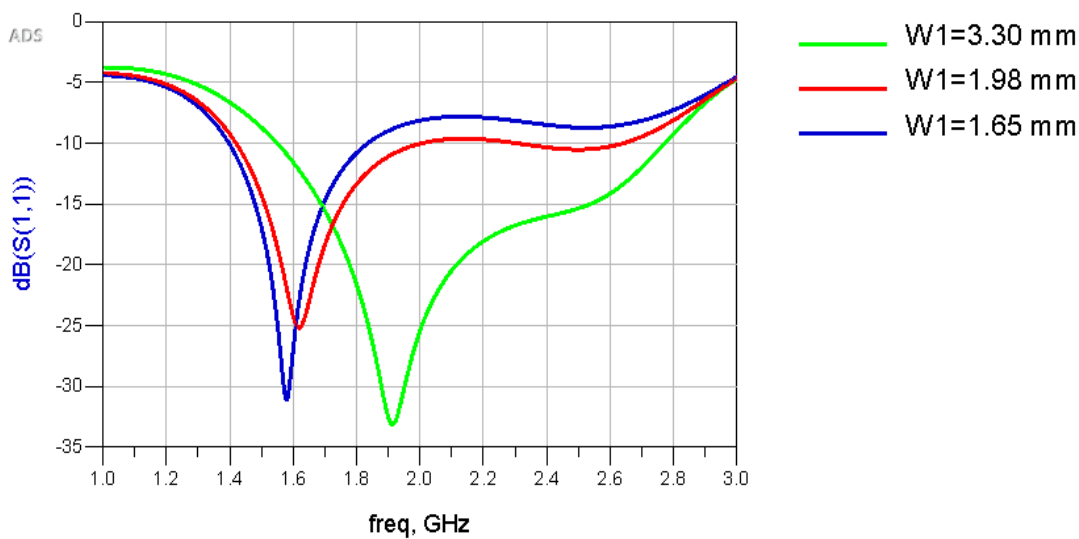
La simulation de ce diviseur sera faite pour deux exemple. Le premier concernant un substrat de Permittivité relative  $\epsilon_r=3.6$ , alors que le deuxième utilise un substrat de  $\epsilon_r=4.3$ .

❖ **Premier exemple ( $\epsilon_r=3.6$ )**

Le substrat utilisé est FR4 ayant une permittivité  $\epsilon_r=3.6$ , La hauteur du substrat  $h=1.524$  mm, l'angle de perte  $\text{tg}(\alpha)=0.0013$  et le conducteur est du cuivre avec une épaisseur  $T=0.035$  mm. Le coefficient de réflexion  $S_{11}$  est obtenu pour différents cas.

➤ **Effet de la variation de la largeur  $W_1$**

On suppose que toutes les variables citées dans le Tableau III.1 sont fixes alors on va varier seulement la largeur des ports de sortie  $W_1$ . Les résultats trouvés sont illustrés dans la Figure III.5.



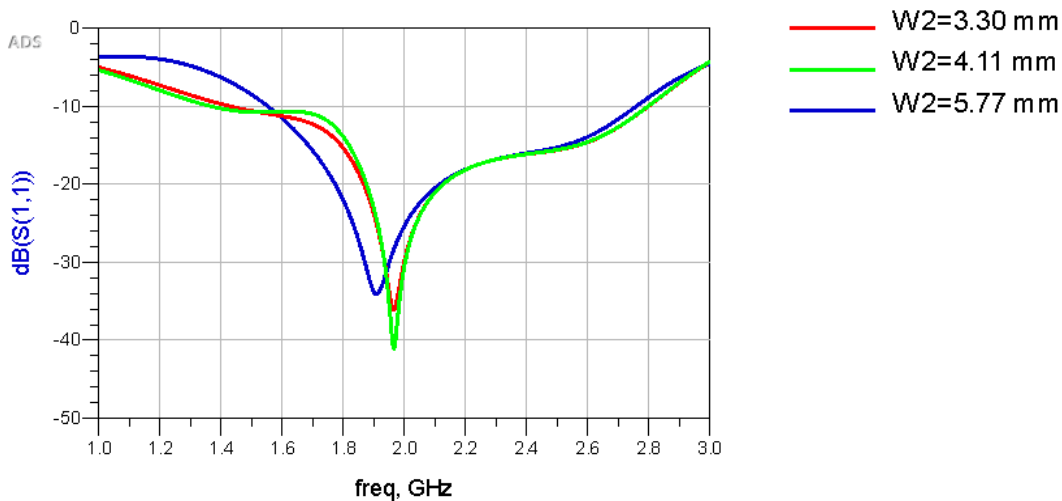
**Figure III.5 :** Evolution du coefficient de réflexion  $S_{11}$  du diviseur montré dans Figure III. 4 pour différentes valeurs de  $W_1$ .

On voit que la variation de  $W_1$  affecte fortement sur la valeur de la fréquence opérationnelle ce qui permet d'avoir un décalage en fréquence de 1.9 GHz à 1.58 GHz pour une variation de 3.30 mm à 1.65 mm dans  $W_1$ . De même, la largeur  $W_1$  affecte légèrement sur l'adaptation sur cette fréquence opérationnelle. Dans le même sens, la largeur de bande passante est proportionnelle à la valeur de  $W_1$ .

➤ **Effet de la variation de la largeur  $W_2$**

De même que l'exemple précédent, on va varier la largeur du port d'entrée  $W_2$  alors que toutes les autres variables sont fixes (Tableau III.1). On prend trois cas possibles ( $W_2=3.30$  mm,  $W_2=4.11$  mm et  $W_2=5.77$  mm).

Les résultats trouvés sont mentionnés dans la Figure III.6



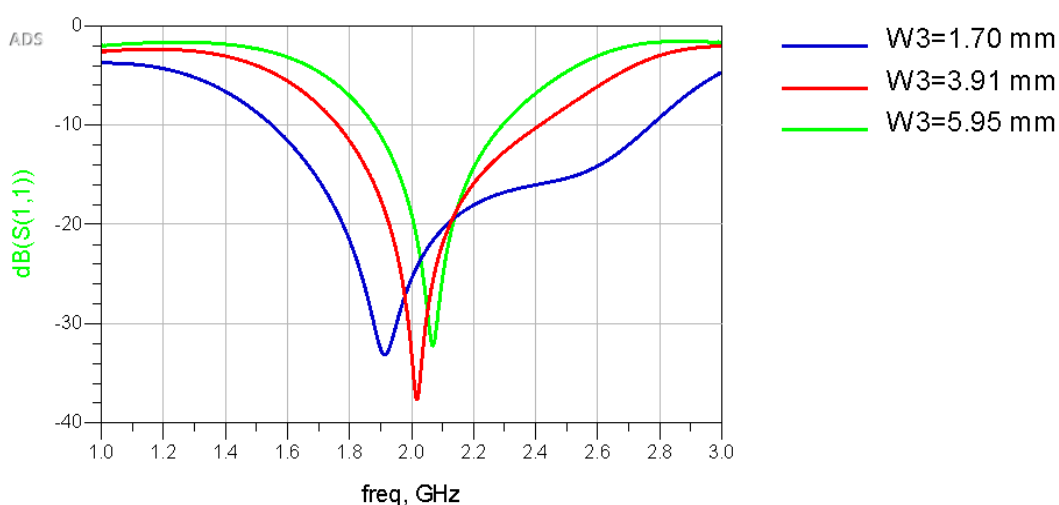
**Figure III.6 :** L'évolution du coefficient de réflexion  $S_{11}$  du diviseur montré dans Figure III. 4 pour différentes valeurs de  $W_2$ .

Au contraire du cas précédent ( $W_1$ ), la variation de  $W_2$  n'affecte que légèrement sur les trois caractéristiques principales (fréquence opérationnelle, l'adaptation à la fréquence opérationnelle et la largeur de la bande passante).

➤ **Effet de la variation de la largeur  $W_3$**

Dans ce troisième cas, on va varier la largeur  $W_3$  (largeur du résonateur en anneau). Les autres paramètres sont fixés (Tableau III.1). De même que les deux exemples précédents, on prend trois cas possibles ( $W_3=1.70$  mm,  $W_3=3.91$  mm et  $W_3=5.95$  mm).

Après la simulation, les résultats trouvés sont illustrés dans la Figure III.7



**Figure III.7 :** L'évolution du coefficient de réflexion  $S_{11}$  du diviseur montré dans Figure III. 4 pour différentes valeurs de  $W_3$ .

D'après les résultats de la Figure III.7, on constate que la largeur du résonateur en anneau  $W_3$  n'affecte que sur la largeur de la bande passante d'où chaque augmentation dans la valeur de  $W_3$  va produire une diminution dans la largeur de bande passante (inversement proportionnelle).

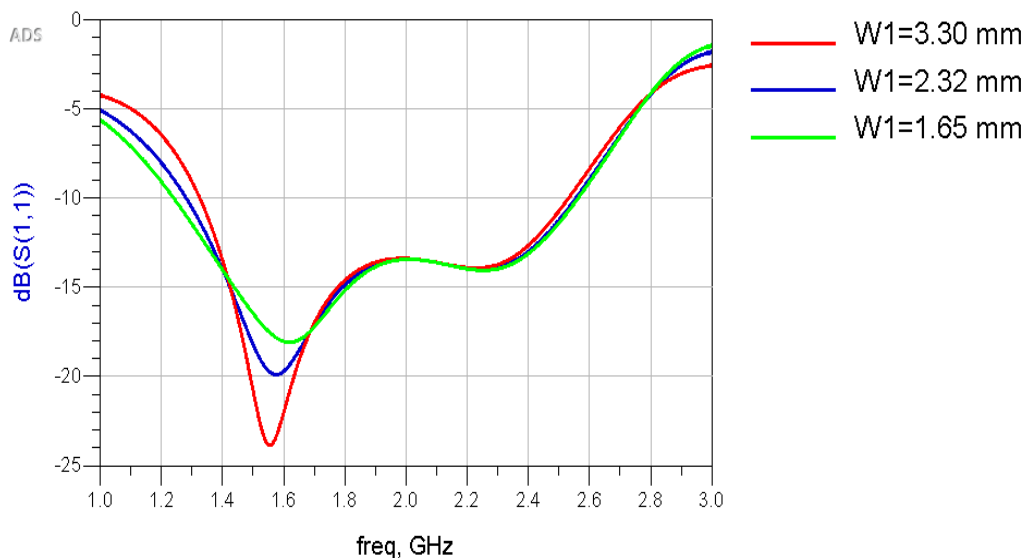
**Note :** on a déjà varié des autres paramètres tels que les longueurs  $L_1$  et  $L_2$ , mais on n'a pas vu une grande variation sur les caractéristiques du diviseur.

❖ *Deuxième exemple* ( $\epsilon_r=4.3$ )

Dans cet exemple ; le substrat utilisé est de matériau FR4 avec une permittivité de  $\epsilon_r=4.3$ , La hauteur du substrat est toujours fixée à  $h=1.6$  mm, l'angle de perte  $\text{tg}(\alpha)=0.0023$  et le métal est du cuivre avec une épaisseur  $T=0.035$  mm. De même que le premier exemple, on va prendre trois cas possibles. Dans chaque cas, les coefficients de réflexion trouvés seront présentés.

➤ **Effet de la variation de la largeur  $W_1$**

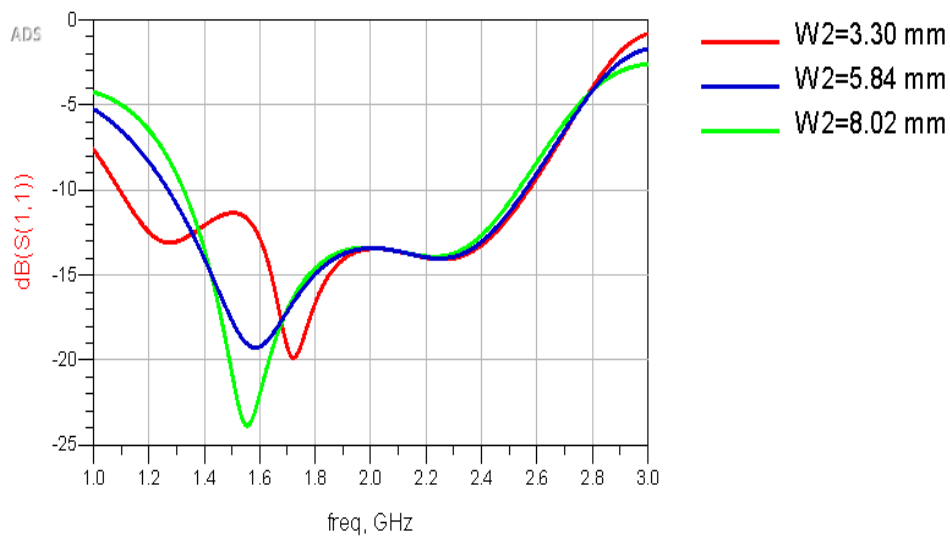
De même que l'exemple précédent, on va varier  $W_1$  où les autres variables sont fixes. La figure suivante présente le coefficient  $S_{11}$  trouvé pour trois cas possibles.



**Figure III.8 :** Evolution du coefficient de réflexion  $S_{11}$  du Gysel avec un substrat de  $\epsilon_r=4.3$  pour différentes valeurs de  $W_1$ .

➤ **Effet de la variation de la largeur  $W_2$**

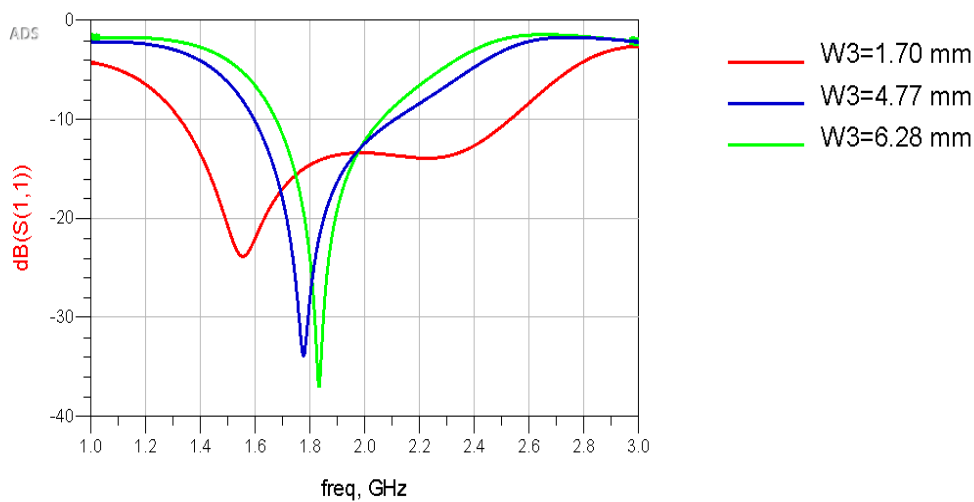
De cet exemple, on va varier  $W_2$  où les autres variables sont fixes. La figure suivante montre le coefficient  $S_{11}$  trouvé pour trois cas possibles.



**Figure III.9 :** L'évolution du coefficient de réflexion  $S_{11}$  du Gysel avec un substrat de  $\epsilon_r=4.3$  pour différentes valeurs de  $W_2$ .

➤ **Effet de la variation de la largeur  $W_3$**

De même que l'exemple précédent, on ne varie que  $W_3$  alors que les autres variables sont fixes. La Figure III.10 présente le coefficient  $S_{11}$  trouvé pour trois cas possibles.



**Figure III.10 :** Evolution du coefficient de réflexion  $S_{11}$  du Gysel avec un substrat de  $\epsilon_r=4.3$  pour différentes valeurs de  $W_3$ .

La largeur de bande obtenue pour ce type de combineur est de l'ordre de 20%-50% autour de la fréquence centrale 2 GHz.

On peut constater à partir des résultats trouvés dans les trois figures précédentes (Figure III.8- Figure III.10) que :  $w_1$  affecte fortement sur l'adaptation à la fréquence opérationnelle tandis que la variation  $W_2$  et  $W_3$  affecte sur la bande passante (proportionnellement inverse) et l'adaptation sur la fréquence opérationnelle.

### III.2 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait une étude paramétrique d'un diviseur de puissance. A partir de cette étude paramétrique du diviseur de Gysel, nous constatons que tout changement petit ou grand dans les dimensions physiques du composant peut affecter sur la fréquence opérationnelle et la bande passante et l'adaptation à la fréquence opérationnelle, il y a ceux qui ont une grande influence et il y a ceux qui ont une faible influence. Cette étude va permettre d'identifier les éléments les plus intéressants pour contrôler les bandes de fréquences.

# CHAPITRE IV

## Conception d'un diviseur de Gysel Reconfigurable

---

## IV.1 Introduction

Après une étude analytique et paramétrique d'un diviseur de Gysel dans le chapitre précédent, où on a une idée sur l'effet des différents paramètres physiques et électriques sur les caractéristiques d'un diviseur de puissance de Gysel.

Dans ce dernier chapitre, On va voir la conception d'un diviseur de Gysel en utilisant un simulateur EM connu par CST studio. La conception sera faite pour un diviseur de Gysel proposé sans reconfigurabilité puis avec reconfigurabilité sur une gamme de fréquence allant de 1 à 8 GHz. On mentionne que la reconfigurabilité de ce diviseur est assurée par l'utilisation des diodes PIN idéales.

## IV.2 Choix de l'outil de simulation

Il existe un grand nombre des simulateurs électromagnétique consacrés pour la conception des différents circuits microondes passifs et actifs tels que les diviseurs de puissance dans notre cas, les coupleurs, et des autres. Parmi ces simulateurs, on peut citer le Comsol, le CST studio, ADS Momentum, le Remcom et le Ansoft HFSS.

Dans ce mémoire, on va concevoir un diviseur de Gysel bi-bande à deux ports de sortie avec le CST studio version 2021. Le diviseur conçu est dédié aux applications WLAN. Une optimisation robuste sera faite pour aboutir une forme finale de ce diviseur de structure 1x2.

## IV.3 Outil de simulation CST

Comme on a mentionné dans le paragraphe précédent que le CST studio était choisi pour une simple raison, c'est que n'est pas possible de maîtriser tous les outils de simulation dans un bref délai, en plus cet outil permet nous de concevoir le diviseur de puissance en 3D au contraire à des autres outils tels que le ADS. Le simulateur CST est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique en trois dimensions (3D) des composantes hautes fréquences en basant sur la résolution des équations de Maxwell en utilisant la méthode d'intégration finie. Ce logiciel de simulation est très utilisé pour les domaines académiques et universitaires, industriels et gouvernementaux. L'interface de ce simulateur est illustrée dans la Figure IV.1.

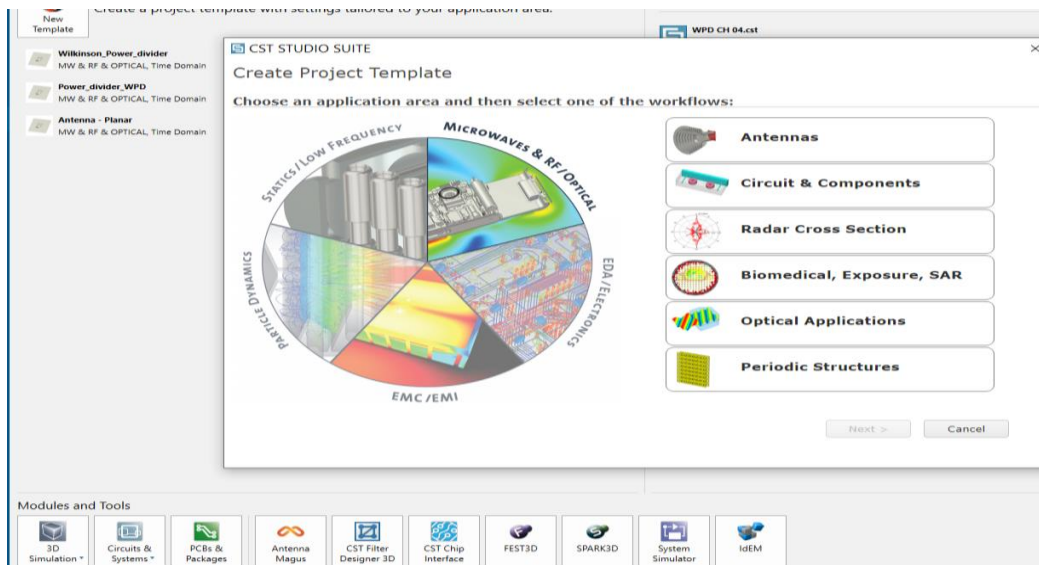


Figure IV.1 : Une interface graphique du simulateur CST studio

Les diviseurs de puissance reconfigurables sont amenés à modifier leurs caractéristiques (fréquence opérationnelle) d'une manière dynamique en utilisant des composants actifs (diode PIN, MEMS, ...). Cependant, cette reconfiguration est limitée par la complexité des composants actifs, la mise en œuvre des circuits d'activation (nécessité des pile), et la difficulté de la conception. Il n'existe pas une méthode précise permettant d'obtenir une configuration de ces diviseurs. Afin de réaliser la reconfigurabilité, on va concevoir un diviseur de Gysel conventionnel (diviseur à deux voies) puis, on va ajouter des composants actifs et des structures résonantes (des fentes ou des tiges, etc.). Ces ajouts entraînent évidemment des modifications sur la distribution du courant surfacique ce qui altère de leur tour sur les caractéristiques de fonctionnement du diviseur.

Notre objectif est de concevoir un diviseur de Gysel qui peut fonctionner sur une bande WLAN (à une fréquence de 2.45 GHz). Après la reconfiguration, ce même diviseur peut fonctionner sur une autre bande WLAN (à une fréquence 5.8 GHz). Pour aboutir à cet objectif, on doit optimiser les paramètres de ce diviseur. Malgré que l'optimisation ne soit pas un sujet récent, mais elle est très utilisée dans de plusieurs domaines. Dans notre cas, on va utiliser une méthode d'optimisation intégré dans le CST studio. Cette méthode est présentée dans la méthode des algorithmes génétiques ou GA (*Genetic Algorithm*).

## IV.4 Conception d'un diviseur de Gysel

La conception (ou le design) d'un diviseur de Gysel dans le CST consiste à réaliser nombreuses étapes nécessaires pour concevoir correctement et sans erreurs ce diviseur dans sa forme finale.

Initialement, on choisit un diviseur de Gysel avec un plan de masse complet. Le diviseur proposé est conçu sur un substrat de faible cout (FR-4 avec pertes) d'une dimension de 60×50 mm<sup>2</sup> (longueur× largeur). Ce substrat présente une permittivité relative  $\epsilon_r= 4.3$ , avec une perte  $\tan \delta$  de 0.025 et une épaisseur  $h$  de 1.6 mm. L'épaisseur du cuivre  $t$  est approximativement 0.035 mm. Les dimensions du plan de masse sont les mêmes que celles du substrat (longueur×largeur). Le diviseur est relié directement à une ligne d'alimentation d'une impédance caractéristique  $Z_c=50\Omega$ .

Dans la modélisation d'un diviseur de puissance, on va utiliser la constante diélectrique effective comme elle est exprimée par

$$\epsilon_{eff} = \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left( \frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left( 1 + 10 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (IV.1)$$

Pour avoir une adaptation d'impédance, on doit utiliser le calculateur d'impédance du CST pour le modèle correspond aux antennes alimentées par une ligne d'alimentation. Ce calculateur est basé sur les équations de synthèse de Wheeler. Alors, pour avoir une impédance d'entrée de 50Ω, on doit utiliser une largeur de feeder  $W_f$  de 3 mm pour un hauteur du substrat  $h=1.6$  mm (voir Figure IV.2).

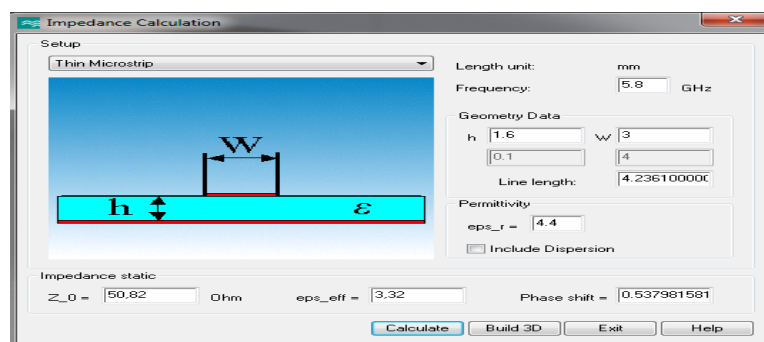


Figure IV.2 : Détermination de l'impédance caractéristique  $Z_0$  pour  $w$  et  $\epsilon_e$  donnée

La forme proposée de notre diviseur de Gysel présente quatre voies où deux voies sont adaptées alors que les autres sont prises come des voies de sortie comme illustré dans la figure suivante :

IV.4.1 La forme proposée

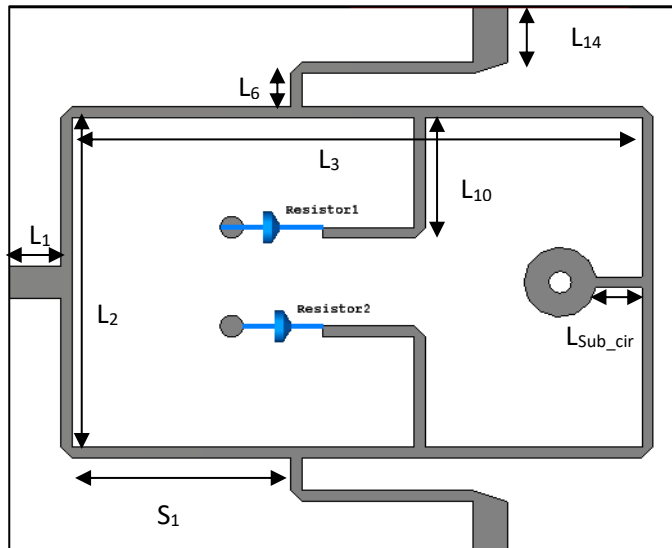


Figure IV.3 : Une forme proposée du diviseur de Gysel

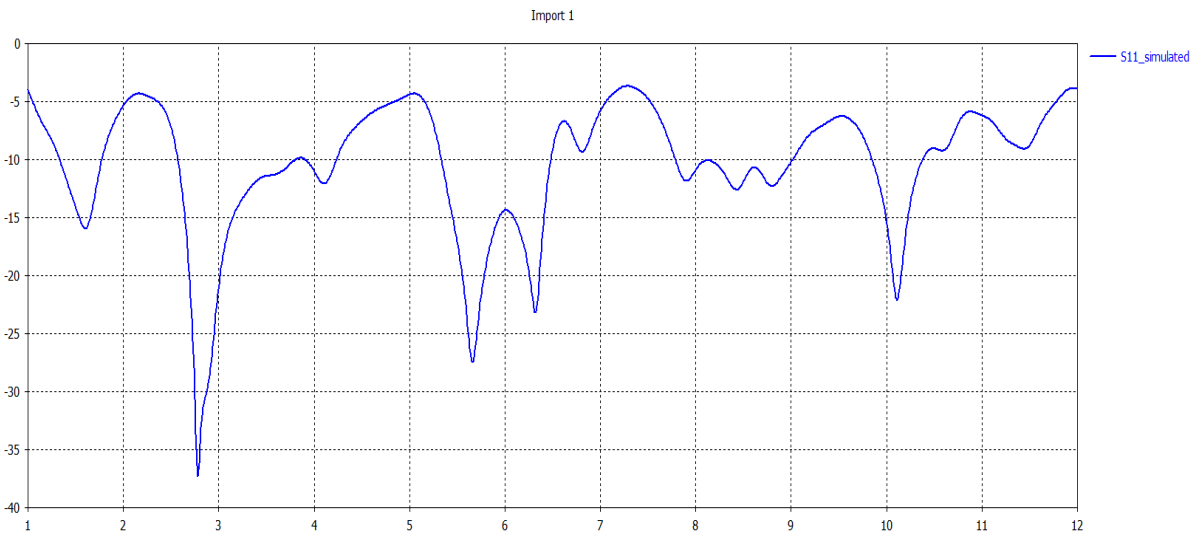
Les dimensions initiales de ce diviseur sont tabulées dans le tableau suivant

Tableau IV.1 : Dimensions du diviseur proposé dans Figure IV.4

Paramètre	$L_{\text{gnd}}$	$W_{\text{gnd}}$	$L_1$	$W_1$	$h$	$W_2$	$L_2$	$L_3$	$L_6$	$L_7$	$S_{10}$	$L_{10}$	$L_{\text{sub\_cir}}$	$S_1$
Valeur en mm	60	50	5	3	1.6	1	30	50	3	15	30	10	5	20

On note que  $L_{\text{gnd}} = L_{\text{sub}}$ ,  $W_{\text{gnd}} = W_{\text{sub}}$ ,  $L_5 = L_3$ ,  $L_4 = L_2$ ,  $W_{14} = W_1$ ,

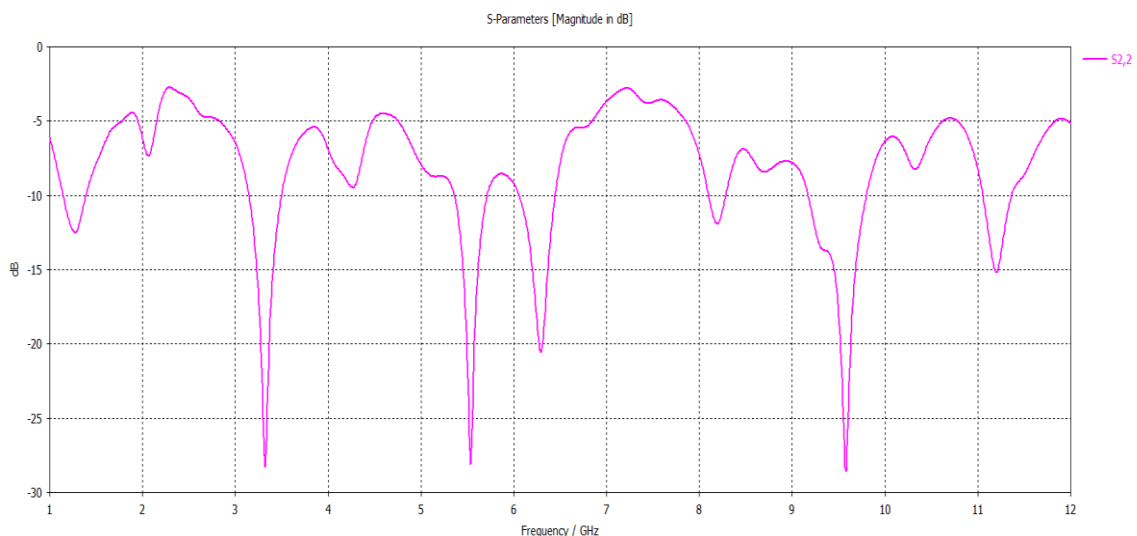
Les valeurs des résistances  $R_1$  et  $R_2$  sont égales,  $R_1 = R_2 = 100 \Omega$



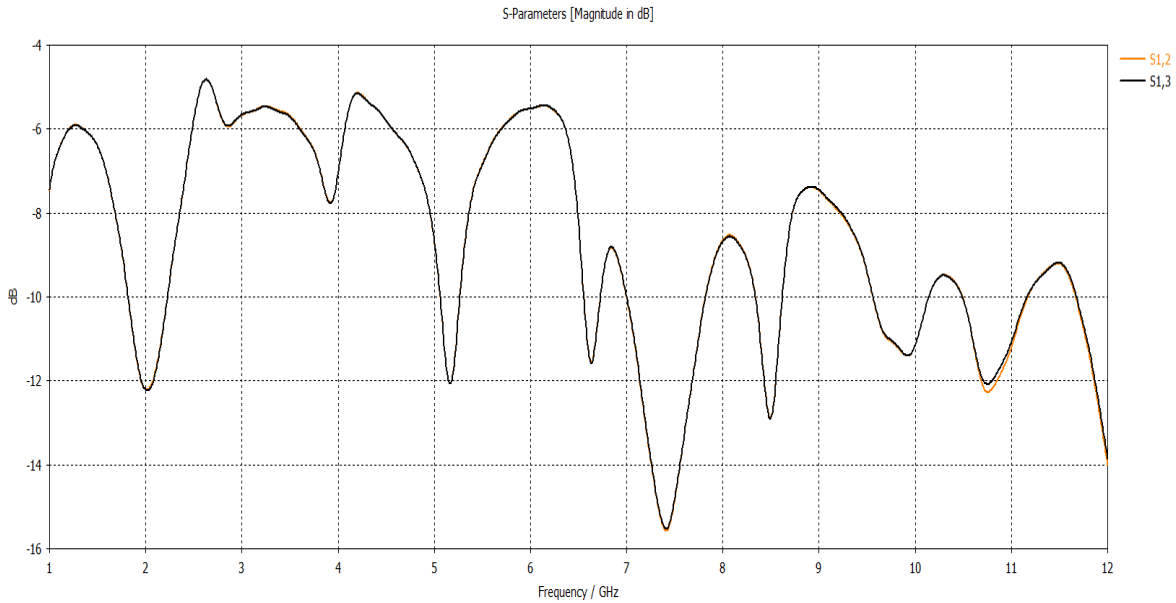
**Figure IV.4 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour le diviseur proposé avec les dimensions mentionnées dans le tableau IV.1

Le diviseur de Gysel conçu a quatre bandes de fréquence dans l'intervalle [1 GHz-12 GHz]. La première bande allant de 2.57 GHz à 4.25 GHz. Cette bande couvre la bande WIFI (près de 2.45 GHz). La deuxième bande allant de 5.34 GHz à 6.48 GHz. Cette bande couvre la bande WLAN 2 (autour de 5.8 GHz). La troisième bande 7.78 GHz à 9.02 GHz. La quatrième bande allant de 9.85 GHz à 10.38 GHz. Dans notre conception, on s'intéresse beaucoup plus aux deux premières bandes.

Dans le même sens, on va montrer le coefficient de réflexion dans les deux ports de sorties (2 &3), où les deux graphes sont identiques (à cause de la similarité) comme nous le montrons dans la figure suivante

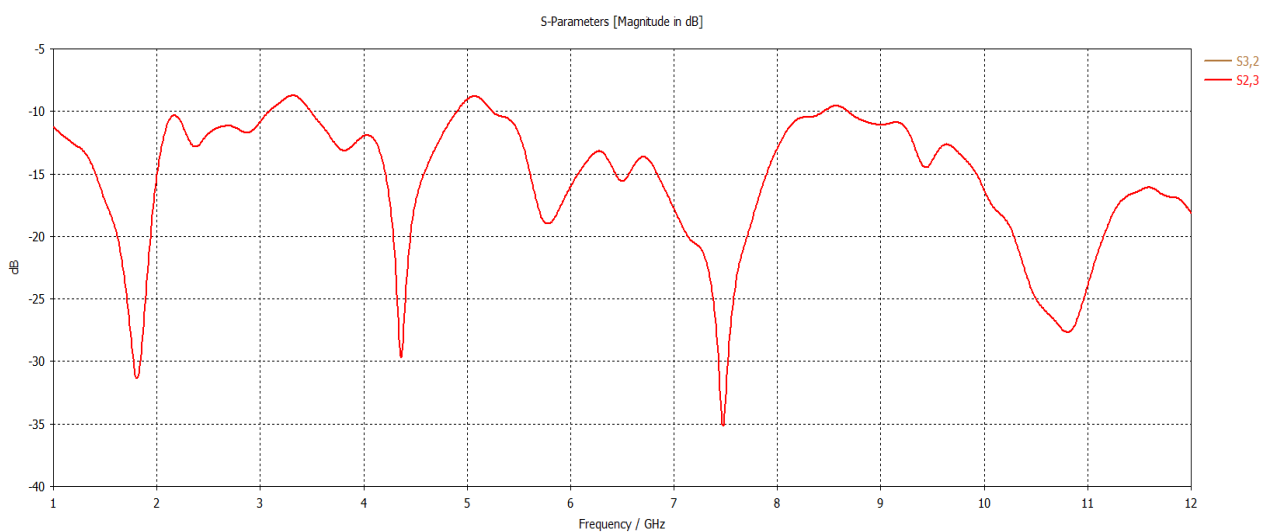


**Figure IV.5 :** Coefficient de réflexion  $S_{22}$  pour le diviseur proposé avec les dimensions mentionnées dans le tableau IV.1



**Figure IV.6 :** Coefficients de transmission  $S_{12}$  &  $S_{13}$  pour le diviseur proposé avec les dimensions mentionnées dans le tableau IV.1

Pour rendre notre diviseur de puissance fonctionne correctement, dans une bande de fréquence donnée, le coefficient de réflexion  $S_{11}$ , les coefficients de réflexion dans les ports de sortie ( $S_{22}$  &  $S_{33}$ ) et le coefficient d'isolation  $S_{32}$  dans cette bande doivent être inférieures à -10 dB. Comme nous le montrons dans les figures IV.2, IV.3, IV.4 et IV.5, on voit que le diviseur proposé présente une bonne isolation dans les quatre bandes citées précédemment.



**Figure IV.7 :** Isolation  $S_{23}$  &  $S_{32}$  pour le diviseur proposé avec les dimensions mentionnées dans le tableau IV.1

IV.4.2 Diviseur de Gysel avec des tiges

Dans cette partie, on va ajouter des tiges à notre diviseur de puissance précédent, ce qui permet de varier les bandes de fréquence donnée. Des diodes PIN sont montées sur la structure pour faire la reconfigurabilité de notre diviseur. Dans cette partie, on suppose que les diodes 1&2 sont allumées alors que la diode PIN 3 est éteinte.

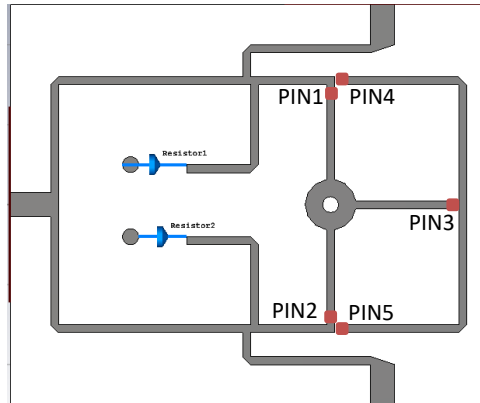


Figure IV.8 : Une forme proposée du diviseur de Gysel avec des tiges

- Pour la diode PIN 5 dans l'état OFF ( $L_{pin5}=0.9$ )  
 Dans ce cas, la diode 5 est éteinte (OFF), le coefficient de réflexion  $S_{11}$  correspondant pour les deux cas de la diode 4 (ON/ OFF) est illustré dans la figure suivante

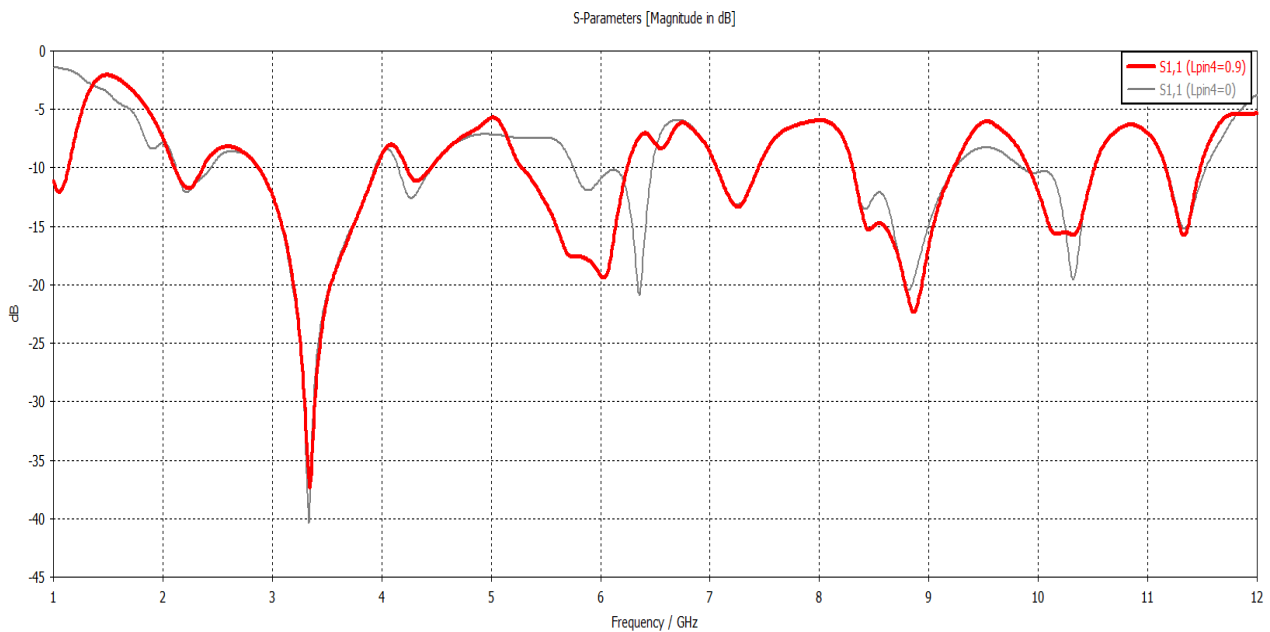
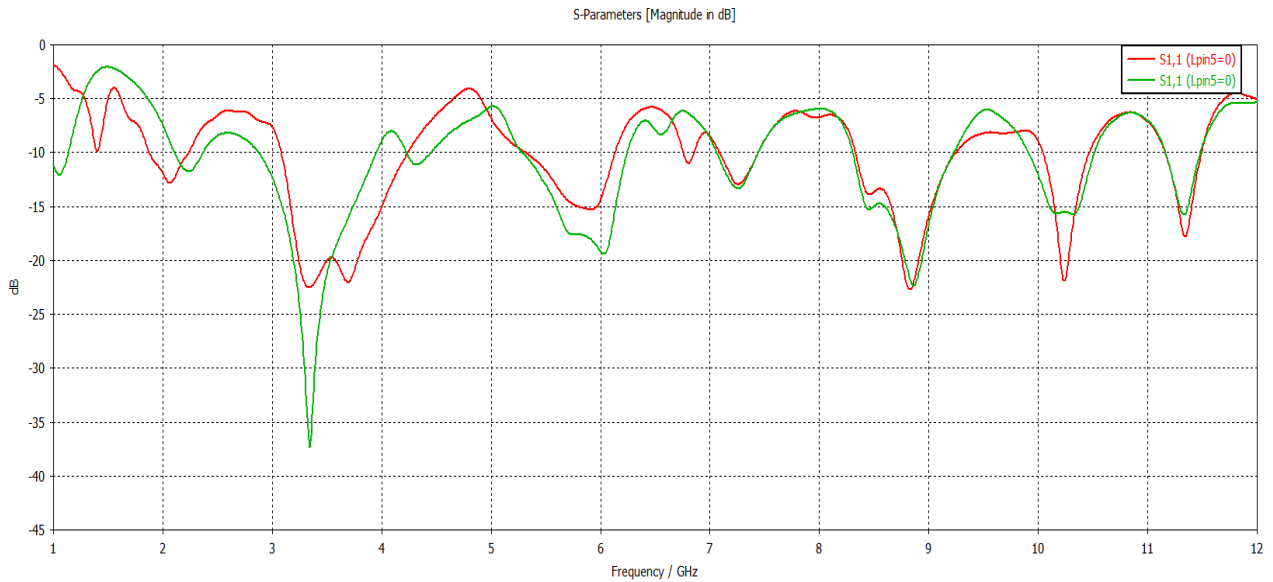


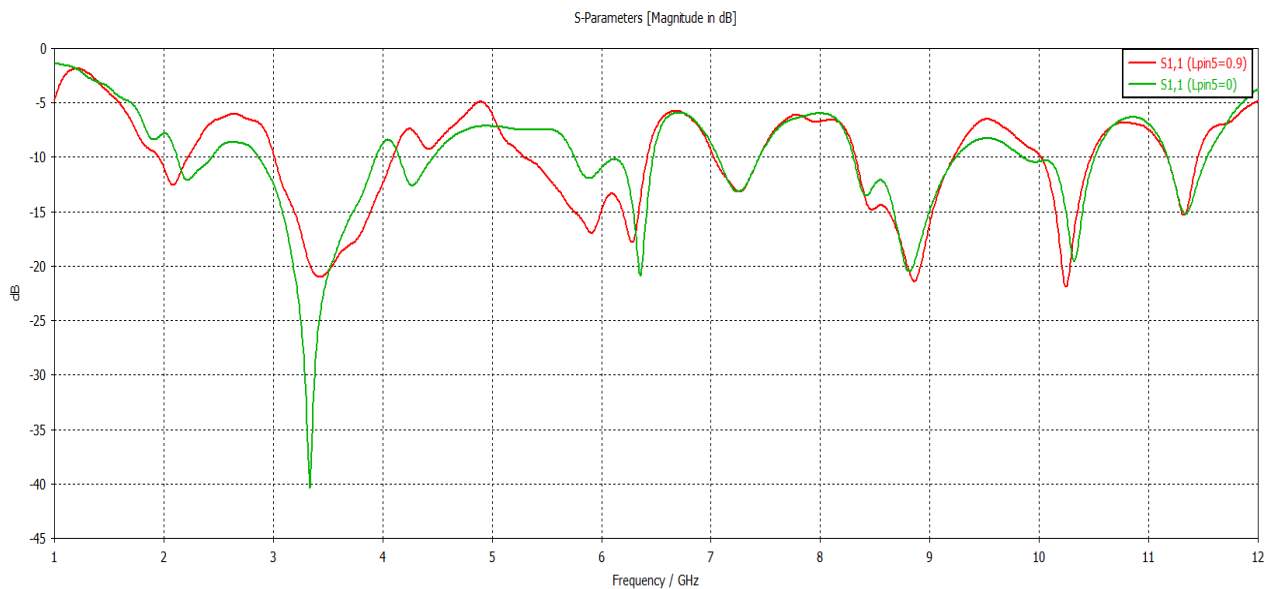
Figure IV.9 : Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour le diviseur proposé avec des tiges pour le cas où la diode PIN5 est éteinte

- Pour la diode PIN 5 dans l'état ON ( $L_{pin5}=0$ )



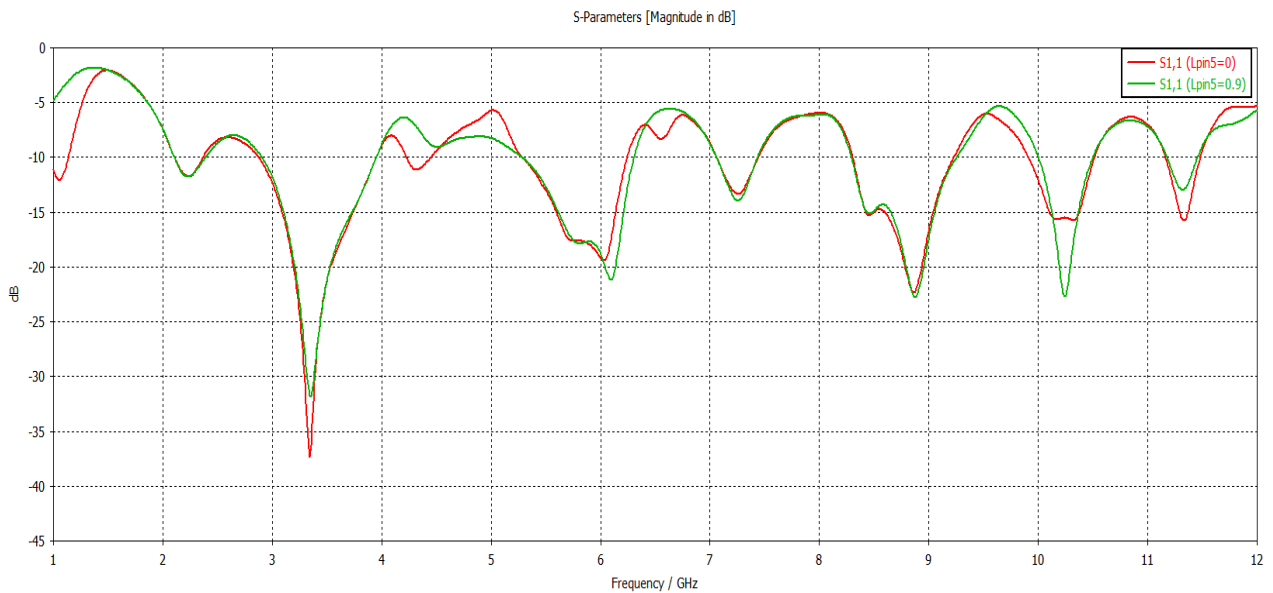
**Figure IV.10 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour le diviseur proposé avec des tiges pour le cas où la diode PIN5 est allumée

- Pour la diode PIN 4 dans l'état ON ( $L_{pin4}=0$ )



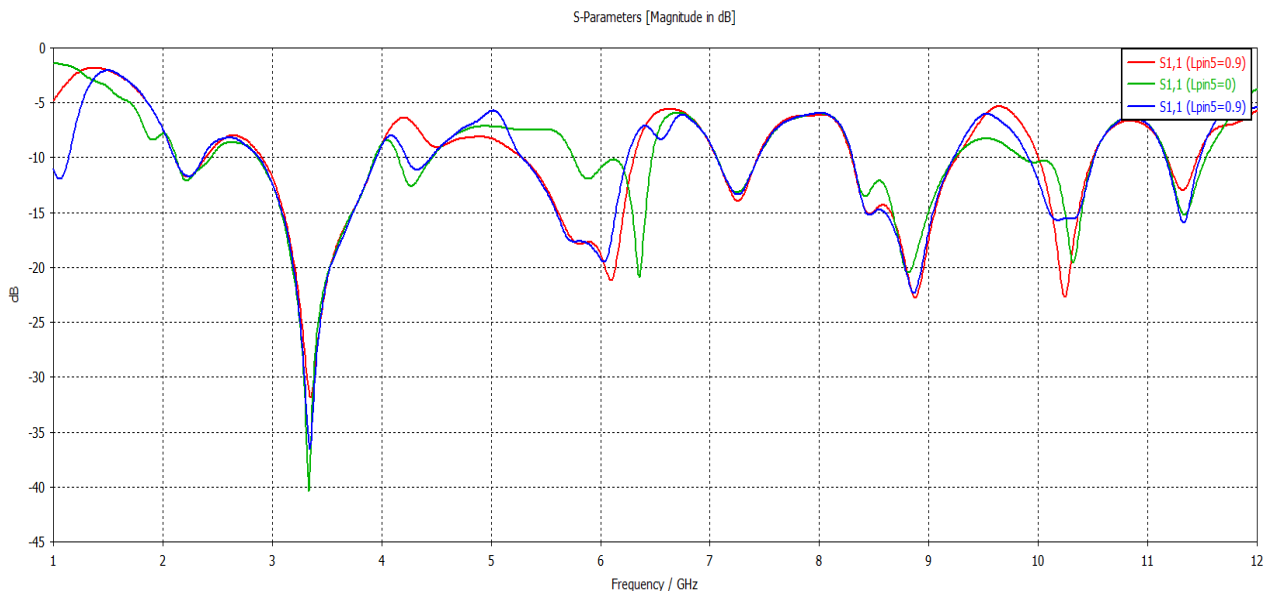
**Figure IV.11 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour le diviseur proposé avec des tiges pour le cas où la diode PIN4 est allumée

- Pour la diode PIN 4 dans l'état OFF ( $L_{pin4}=0.9$ )



**Figure IV.12 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour le diviseur proposé avec des tiges pour le cas où la diode PIN4 est éteinte

En conclusion, On a trois cas à cause de la symétrie ON-ON, ON-OFF et OFF-OFF



**Figure IV.13 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour le diviseur proposé avec des tiges pour les différents cas des diodes PIN4 et PIN5

On voit que pour l'état ON/ON, le diviseur de Gysel fonctionne seulement sur la bande de fréquence 1 (allant de 3 GHz au 4.2 GHz). Pour l'état OFF/OFF, le diviseur fonctionne sur les deux bandes de fréquence WLAN (la première allant de 3 au 4.2 GHz et la deuxième bande allant de 5.2 au 6.2 GHz). De même pour l'état ON/OFF, le diviseur fonctionne sur les deux bandes de fréquence.

### IV.5 Conclusion

Cette étude était consacrée à la conception d'un diviseur de Gysel reconfigurable pour les applications mobiles. Pour faire la reconfigurabilité, trois diodes PIN ont été utilisées pour basculer entre les différentes bandes de fréquences. Premièrement, on a commencé par la conception d'une forme simple de Gysel. Par la suite, des tiges sont montés sur notre diviseur de puissance précédent. Dans ce chapitre, le diviseur de Gysel était simulé à l'aide d'un outil de simulation EM robuste (CST studio). Les résultats obtenus sont satisfaisants en termes d'adaptation, d'isolation et de transmission.

# CONCLUSION GENERALE

---

## Conclusion générale

Dans ce travail, l'étude vise à concevoir un diviseur de puissance de Gysel à deux bandes en utilisant le simulateur CST Studio Microwave. Dans cette recherche, on a fait étude et conception d'un diviseur de puissance de Gysel reconfigurable pour les applications mobiles.

Nous avons commencé par positionner le travail envisagé en présentant un état de l'art sur Les différents diviseurs de Gysel, puis nous avons exposé l'essentiel des notions théoriques concernant les diviseurs de Gysel (communications sans fil et WLAN),

Ensuite, Nous avons effectué une recherche exhaustive sur les parties théoriques et appliquées de certains diviseurs de Gysel reconfigurables, en plus de leurs applications. Dans la partie de simulation de troisième et quatrième chapitre, nous avons effectué une étude paramétrique d'un diviseur de Gysel qui nous a montré l'effet de différentes dimensions physiques d'un diviseur sur ses caractéristiques importantes en termes de coefficient de réflexion dans chaque port, l'isolation entre les ports de sortie et des autres.

Dans la partie d'optimisation avec l'algorithme intégré dans le simulateur CST, nous avons utilisé plusieurs étapes importantes du programme de simulation : *identification des paramètres à varier, la gamme de variation, méthode d'optimisation choisie et les objectifs*. Le diviseur de Gysel conçu fonctionne dans deux bandes de fréquences correspondants aux applications WLAN (Bi-bande : WLAN\_1 et 2 ( $f_1=2.45\text{GHz}$  et  $f_2= 5.8 \text{ GHz}$ ).

Comme perspectives pour les travaux au futur, nous avons proposé de concevoir un diviseur de Gysel miniaturisé tout en gardant ces performances acceptables (adaptation, isolation).

## REFERENCES

1. K.-K. M. Cheng and P.-W. Li, "A novel power-divider design with unequal power dividing ratio and simple layout," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 57, no. 6, pp. 1589–1594, Jun. 2009
2. M. A. Maktoomi, M. S. Hashmi, and F. M. Ghannouchi, "Systematic design technique for dualband branch-line coupler using T- and Pi-networks and a novel wide band-ratio crossover," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 6, No. 5, pp. 784-795, Apr. 2016
3. E. J. Wilkinson, "An N-Way Hybrid Power Divider," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 8, no. 1, pp. 116-118, 1960.
4. U. H. Gysel, "A New N-Way Power Divider/Combiner Suitable for High Power Applications," in *MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Palo Alto, CA, USA, May. 1975.
5. Y. Wu and Y. Liu, "A novel wideband coupled-line Gysel power divider with function of impedance matching," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 26, no. 14-15, pp. 2012-2021, 2012.
6. X. Wang, K.-L. Wu, and W.-Y. Yin, "A Compact Gysel Power Divider With Unequal Power-Dividing Ratio Using One Resistor," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 62, no. 7, pp. 1480-1486, 2014.
7. H. Oraizi and A. R. Sharifi, "Optimum Design of a Wideband Two-Way Gysel Power Divider With Source to Load Impedance Matching," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 57, no. 9, pp. 2238-2248, 2009.
8. Y. Liu, L. Zhu, and S. Sun, "Proposal and Design of a Power Divider With Wideband Power Division and Port-to-Port Isolation: A New Topology," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 68, no. 4, pp. 1431-1438, 2020.
9. G. Chaudhary and Y. Jeong, "A finite unloaded quality-factor resonators based negative group delay circuit and its application to design power divider," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 58, no. 12, pp. 2918–2921, 2015.
10. U. H. Gysel, "A new N-way power divider/combiner suitable for high-power applications," in *Proceedings of the IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, pp. 116–118, IEEE, Palo Alto, CA, USA, May 1975.

11. H. Choi, Y. Jeong, C. D. Kim, and J. S. Kenney, "Efficiency enhancement of feedforward amplifiers by employing a negative group-delay circuit," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 58, no. 5, pp. 1116–1125, 2010
12. K. Bumman, M. Junghwan, and K. Ildu, "Efficiently amplified," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 11, no. 5, pp. 87–100, 2010.
13. School of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning 116026, China Correspondence should be addressed to Zhongbao Wang; wzbdlmu@foxmail.com Received 14 May 2019; Accepted 29 July 2019; Published 14 August 2019
14. U. H. Gysel, "A new N-way power divider/combiner suitable for high-power applications," in *Proceedings of the IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, pp. 116–118, IEEE, Palo Alto, CA, USA, May 1975.
15. Corresponding author: Mukesh Kumar\* (mukeshnitd415@gmail.com). The authors are with the Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Indian Institute of Engineering Science and Technology, Shibpur, Howrah, India.)
16. Y. Chung, J. Jeong, Y. Wang, D. Ahn, and T. Itoh, "Power level-dependent dual-operating mode LDMOS power amplifier for CDMA wireless base-station applications," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 53, no. 2, pp. 739–746, Feb. 2005
17. T. Lehmann, F. Hettstedt, and R. Knoechel, "Reconfigurable PA Networks using switchable directional couplers as RF switch," in *Proc. Eur. Microw. Conf.*, Munich, Germany, Oct. 2007, pp. 1054–1057
18. H. S. Tae, H. S. Jang, S. J. Lee, W. S. Lee, and J. W. Yu, "3-mode reconfigurable beam-forming array antenna for mobile WLAN application," in *Proc. Eur. Microw. Conf.*, Amsterdam, The Netherlands, Oct. 2012, pp. 711–714.
19. M. T. Ali, M. R. Kamarudin, M. N. Md Tan, and T. A. Rahman, "Reconfigurable beam shaping antenna with Wilkinson power divider at 5.8 GHz," in *IEEE Int. RF Microw. Conf.*, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2008, pp. 436–440.
20. Y. Chung, R. Song, K. T. Kim, D. Ahn, and T. Itoh, "Power routing scheme with dual operating modes: Two-way Wilkinson divider and one-way signal path," *Electron. Lett.*, vol. 40, pp. 129–130, Jan. 2004.
21. K. Kim, Y. Chung, J. Kang, T. Itoh, and D. Ahn, "Reconfigurable power divider and combiner with variable power ratio," in *IEEE MTT-S int. Microw. Symp. Dig.*, Jun. 2004, pp. 57–60.

22. T. Lehmann, F. Hettstedt, and R. Knoechel, "Reconfigurable Wilkinson power dividers with minimum number of switches," *Electron. Lett.*, vol. 45, pp. 111–112, Jan. 2009.
23. H. S. Tae, K. S. Oh, H. L. Lee, W. I. Son, and J. W. Yu, "Reconfigurable 1 4 power divider with switched impedance matching circuits," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 22, no. 2, pp. 64–66, Feb. 2012.
24. K.-K. M. Cheng and C. Law, "A novel approach to the design and implementation of dual-band power divider," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 56, no. 2, pp. 487–492, Feb. 2008.
25. K.-X. Wang, X. Y. Zhang, and B.-J. Hu, "Gysel power divider with arbitrary power ratios and filtering responses using coupling structure," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 62, no. 3, pp. 431–440, Mar. 2014.
26. Y. Chung, J. Jeong, Y. Wang, D. Ahn, and T. Itoh, "Power leveldependent dual-operating mode LDMOS power amplifier for CDMA wireless base-station applications," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 53, no. 2, pp. 739–746, Feb. 2005.
27. H.-S. Tae, H.-S. Jang, S.-J. Lee, W.-S. Lee, and J.-W. Yu, "3-mode reconfigurable beam-forming array antenna for mobile WLAN application," in *Proc. Eur. Microw. Conf.*, Amsterdam, The Netherlands, Oct. 2012, pp. 711–714.
28. H. Fan, X. Liang, J. Geng, R. Jin, and X. Zhou, "Switched multibeam circular array with a reconfigurable network," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 7, pp. 3228–3233, Jul. 2016.
29. H. Fan, R. Jin, J. Geng, X. Liang, and X. Zhou, "Multiple antenna selection schemes with a RF reconfigurable power combiner," *Wireless Pers. Commun.*, vol. 85, no. 3, pp. 1071–1080, Dec. 2015.
30. Y. Chung, R. Song, K. T. Kim, D. Ahn, and T. Itoh, "Power routing scheme with dual operating modes: Two-way Wilkinson divider and one-way signal path," *Electron. Lett.*, vol. 40, no. 2, pp. 129–130, Jan. 2004
31. T. Lehmann, F. Hettstedt, and R. Knoechel, "Reconfigurable Wilkinson power dividers with minimum number of switches," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 2, pp. 111–112, Jan. 2009.
32. H. Fan, J. Geng, X. Liang, R. Jin, and X. Zhou, "A three-way reconfigurable power divider/combiner," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 63, no. 3, pp. 986–998, Mar. 2015

33. H. Fan, X. Liang, J. Geng, R. Jin, and X. Zhou, "Switched multibeam circular array with a reconfigurable network," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 7, pp. 3228–3233, Jul. 2016
34. Y. Chung, R. Song, K. T. Kim, D. Ahn, and T. Itoh, "Power routing scheme with dual operating modes: Two-way Wilkinson divider and one-way signal path," *Electron. Lett.*, vol. 40, no. 2, pp. 129–130, Jan. 2004.
35. T. Lehmann, F. Hettstedt, and R. Knoechel, "Reconfigurable Wilkinson power dividers with minimum number of switches," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 2, pp. 111–112, Jan. 2009
36. H. Fan, X. Liang, J. Geng, R. Jin, and X. Zhou, "Switched multibeam circular array with a reconfigurable network," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 7, pp. 3228–3233, Jul. 2016
37. Y. Chung, R. Song, K. T. Kim, D. Ahn, and T. Itoh, "Power routing scheme with dual operating modes: Two-way Wilkinson divider and one-way signal path," *Electron. Lett.*, vol. 40, no. 2, pp. 129–130, Jan. 2004
38. T. Lehmann, F. Hettstedt, and R. Knoechel, "Reconfigurable Wilkinson power dividers with minimum number of switches," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 2, pp. 111–112, Jan. 2009
39. H.-S. Tae, K.-S. Oh, H.-L. Lee, W.-I. Son, and J.-W. Yu, "Reconfigurable  $1 \times 4$  power divider with switched impedance matching circuits," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 22, no. 2, pp. 64–66, Feb. 2012.
40. H.-S. Tae, K.-S. Oh, H.-L. Lee, W.-I. Son, and J.-W. Yu, "Reconfigurable  $1 \times 4$  power divider with switched impedance matching circuits," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 22, no. 2, pp. 64–66, Feb. 2012.
41. Chia-Chan, Chang, Cheng, Liang, Bihe, Deng, Domier, C. Luhmann, N., C., Jr. 'A beam-shaping phased antenna array based on true-time delay technologies' *Infrared and Millimeter Waves*, pp. 99-100, (2002).
42. Madany, Y. M. 'The analysis of wideband conformal microstrip array antenna with cosecant-squared beam shaping', *Radar, 2006 IEEE Conference on*, pp. 208214, (2006).
43. Kiriazi, J., Ghali, H., Ragaie, H., Haddara, H. 'Reconfigurable dual-band dipole antenna on silicon using series MEMS switches' *Antennas and Propagation Society International Symposium, Volume 1*, pp. 403-406, (2003).
44. Rainee N. Simons, 'Novel On-Wafer Radiation Pattern Measurement Technique for MEMS Actuator Based Reconfigurable Patch Antennas' *Glenn Research Center, Cleveland, Ohio*

45. Kiriazi, J., Ghali, H., Ragaie, H., Haddara, H. 'Reconfigurable dual-band dipole antenna on silicon using series MEMS switches' Antennas and Propagation Society International Symposium, Volume 1, pp. 403-406, (2003).
46. Yang, F., Xue-Xia, Zhang, Xiaoning, Ye, RahmatSamii, Y. 'Wide-band E-shaped patch antennas for wireless communications', Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, Volume 49, pp. 1094-1100, 2001.
47. Peroulis, D., Sarabandi, K., Katehi, L. P. B., 'Design of reconfigurable slot antennas', Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, Volume 53, pp. 645-654, 2005.

## ملخص:

يشهد العالم ثورة منقطعة النظير في مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية مما أدى إلى ظهور العديد من الخدمات في شاكلة: شبكات الجيل الرابع (LTE) والخامس (5G)، شبكات Bluetooth، شبكات WLAN... الخ، والتي بدورها أدت إلى ظهور الحاجة إلى إدماج العديد من الخدمات في جهاز واحد. في نفس السياق، كل دارات الميكرويف النشطة وغير النشطة يجب أن تتماشى مع ظاهرة ادماج الخدمات. من بين هذه الدارات نذكر مقسم الطاقة الذي يعتبر محورا أساسيا في بحثنا هذا. تعتبر هذه الأخيرة (مقسمة الطاقة) أحد أهم الدوائر السلبية التي تستعمل في عدة مجالات كالطب، المراقبة، أنظمة الرادار وغيرها من التطبيقات. ومن بين أبرز المقسمات الطاقوية نجد مقسم GYSEL والمصنف ضمن أنواع المقسمات الطاقوية التي لها نطاق ترددي ضيق. في هذا العمل المقدم، قمنا بتصميم عدة نماذج من مقسم الطاقة لغيسل (GPD) باستعمال برنامج محاكاة من نوع CST Studio كما قمنا بدراسة تحليلية لهذا المقسم باستعمال برنامج محاكاة ADS وهذا من أجل معاينة تأثير الأبعاد الهندسية للمقسم على خصائصه الفيزيائية كذبذبة العمل وعرض النطاق. بعد الدراسة التحليلية قمنا بتصميم مقسم ثنائي النطاق من نوع GPD ذو مخرجين يعمل على تطبيق WLAN 2.4 و 5.8 جيجا هرتز

الكلمات المفتاحية: مقسم طاقي غيسل، مقسم طاقي قابل لإعادة التشكيل، صمام PIN، محاكي كهرومغناطيسي CST

## Abstract :

*The world is witnessing an unparalleled revolution in the field of telecommunications, which has led to the emergence of many services in the form of the fourth-generation networks (LTE) and the 5G, Bluetooth networks, WLAN networks, etc., which in turn led to the emergence of the need to integrate many services into one device. In the same context, all active and passive microwave circuits must go along with the phenomenon of integration of services. Among these circuits, we mention the power divider, which is a main focus in this research. The latter (energy dividers) is one of the most important passive circuits that are used in many fields, such as medicine, surveillance, radar systems, and other applications. Among the most prominent power dividers we find the GYSEL splitter, which is classified among the types of power splitters that have a narrow bandwidth. In this work presented here, we designed several models of the GPD power divider using the CST Studio simulation program. We also conducted an analytical study of this divider using the ADS simulation program, in order to examine the effect of the geometric dimensions of the divider on its physical properties such as work frequency and bandwidth. After the analytical study, we designed a dual-band GPD splitter with two outputs which is dedicated for the application of WLAN 2.4 and 5.8 GHz.*

**Key words:** Gysel power divider, PIN diode, CST simulator, Reconfigurable power divider.