

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT ELECTRONIQUE

N° :/..../2023



DOMAINE : SCIENCES TECHNOLOGIE

FILIERE : TELECOMUNICATION

OPTION : SYSTEME DES TELECOMUNICATION

Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique

Par:

Yettou Assia

Intitulé

**Conception ET simulation D'un Diviseur
De Puissance de Wilkinson dans la
Bande Ka**

Soutenu devant le jury composé de:

Dr. Haddi BAKHTI	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
Dr. Miloud BENTOUMI	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Rapporteur
Dr. Mostefa TABAKH	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

D'abord et avant à remercier ALLAH le Tout Puissant pour toute la volonté et le courage qu'il m'a donné pour l'achèvement de ce travail.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement notre promoteur Dr. BENTOUMI Miloud et Dr. SAFER .Omar pour l'aide qu'il nous a apportée, qui a démontré sa pleine volonté de nous aide et de nous guider.

Nous le remercier également pour la confiance et la compréhension qu'il m'a toujours prouvée.

Je remercie également tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail. Mes vifs remerciements s'adressent également à tous les membres de ma famille surtout mon cher père pour leur aide inconditionnelle et pour leur soutien précieux durant ma formation, ce qui leur fait valoir ma grande reconnaissance.

Enfin, je remercie Dr. BAKHTI. Haddi et toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail.

Dédicaces

Ce modeste travail est dédié

A mon cher Père

A mes frères et sœur

A ma grande famille et tous mes amis

sommaire

Table des matières

Remerciement	2
Dédicaces	3
Chapitre I.....	3
Etat de l'art sur le diviseur de puissance Wilkinson	3
I. Introduction	4
I. 1. Etude théorique d'un diviseur de puissance.....	4
I. 2. Types d'un diviseur de puissance Wilkinson.....	5
I. 2.1 Diviseur de Wilkinson résistif.....	5
I. 2.2 Diviseur de Wilkinson à N voies	7
I. 2.3 Diviseur de Wilkinson passe-bande compact avec suppression des harmoniques	8
I. 3 Reconfigurable dans les diviseurs de Wilkinson	8
I. 3.1 Commutateurs RF.....	8
I. 3.2 Diodes PIN.....	9
I. 3.3. Caractéristiques importantes d'une diode PIN	10
3.4 Applications de la diode PIN en RF	10
I. 4 Les fondamentaux du diviseur de puissance de Wilkinson.....	10
I. 5 Avantages de diviseur de puissance Wilkinson	11
I. 6 Inconvénient de diviseur de puissance Wilkinson.....	12
Chapitre II.....	13
Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson.....	13
Introduction	14
II. .1 Les paramètres d'un diviseur de puissance	14
II. 1.1 Les pertes d'insertion.....	14
II. 1.2 L'isolation	15
II. 1.3 La directivité.....	15
II. 2 Analyse d'un diviseur de puissance Wilkinson.....	15
II. 3 Etude paramétrique d'un diviseur de puissance	19
II. 3.1 Choix de l'outil de simulation	19
II.3.2 La forme proposée	21
II. 3.3 Layout	22
II. 3.4 Etude paramétrique	22
II. 4 Paramètres géométriques diviseur de puissance Wilkinson	26

II. 4.1 Ratio d'impédance (Z_0/Z_0').....	26
II. 4.2 Longueur de la ligne de transmission.....	28
II. 4.3 Écart entre les résistances.....	30
II. 4.5 Considérations pour les différentes géométries :	32
II. 5 Paramètres électriques : 33	
II. 5.1 L'impédance caractéristique:.....	33
II. 5.2 Le rapport de division de puissance:	34
II. 5.3 La fréquence de fonctionnement d'un diviseur de puissance Wilkinson	35
II. 6 Méthodes numériques:.....	37
II. 6.1 Simulation par éléments finis (FEM):.....	37
II. 6.2 Méthodes hybrides:	37
II. 6.3 Choix de la méthode	37
II. 6.4 Outils d'étude paramétrique	38
II. 7 Application de l'étude paramétrique d'un diviseur de puissance Wilkinson.....	38
Chapitre III.....	40
La conception d'un diviseur de puissance Wilkinson En bande ka.....	40
Introduction :	41
III. 1 L'optimisation dans le simulateur ADS	41
III. 2 Calcul de l'impédance de la ligne d'alimentation	46
III.3 Simulation avec ADS	47
III. 4 Résultat	51
III. 5 Conclusions	53
Conclusion générale	55
Référence Et Bibliographie	57

listes des figures

Fig. I.1.Diviseur de puissance résistif à trois ports : photographie	5
Fig. I.2. Diviseur de puissance résistif à trois ports à répartition égal.	6
Fig.I.3. Diviseur de puissance à N voies	7
Fig. I.4.Commutateur MEMS	9
Fig. I.5. Schéma d'une diode PIN	9
Figure II.1 : Un diviseur de Wilkinson à deux voies de puissance égales.	15
Figure II.2 : La forme symétrique et normalisée du WPD	16
Figure II. 3 : Le circuit équivalent du WPD en mode pair.	16
Figure II.4 : Le Circuit équivalent en mode impair du WPD.	17
FigureII.5:UneinterfacegraphiquedusimulateurADS2019.[3]	19
Figure II.6:Une interface de l'outil Lincalc du simulateur ADS.	20
Figure II.7:Topologiesimpled'undiviseurdepuissanceà2ports [15]	21
Figure II.8: Un schéma de module du diviseur WPD en utilisant le ADS.	21
Figure II.9:Le schéma imprimé du diviseur de Wilkinson généré par le ADS.	22
Figure II.10:L'évolution du coefficient S11 du Wilkinson avec un substrat de $\epsilon_r=3.6$ pour différentes valeurs de L1.	23
Figure II.11:L'évolution du coefficient S11du Wilkinson avec un substrat de $\epsilon_r=3.6$ pour différentes valeurs de L2.	23
Figure II.12 : L'évolution du coefficient S11 du Wilkinson avec un substrat de $\epsilon_r=3.6$ pour différentes valeurs de L3.	24
Figure II.13 : L'évolution du coefficient de réflexion S11 du WPD avec un substrat de $\epsilon_r=4.3$ pourdifférentesvaleursdeL1.	25
Figure II.14 : L'évolution du coefficient de réflexion S11 du WPD avec un substrat de $\epsilon_r=4.3$ pour différentes valeurs de L2.	25
FigureII.15 : L'évolution du coefficient de réflexion S11 du WPD avec un substrat de $\epsilon_r=4.3$ pourdifférentesvaleursdeL3.	26

Fig. III.1 : Fenêtre LineCalc utiliser pour le calcul de l'impédance de la ligne d'alimentation dans logiciel ADS	48
Fig. III.2. Advanced design system product selection	49
Fig. III.3. Création nouveau projet	49
Fig. III.4.Création d'un nouveau schéma en ADS	50
Fig. III.5.Nomination d'une cellule en ADS	50
Fig. III.6. Fenêtre de conception ou de design	51
Figure III.7 : Le schéma proposé du diviseur Ka-bonde à deux ports en utilisant ADS.	51
Figure III.8 : Le circuit imprimé du schéma créé en Figure III.1 par ADS	52
Figure III.9 : Définition des objectifs sur ADS.	53
Figure III.10 : Les réponses des différents paramètres de WPD	54
Figure III.11 : Les réponses d'optimisation de WPD	54

listes des tableaux

TableauII.1: Les dimensions d'un diviseur de puissance(WPD).....	22
---	-----------

introduction générale

I. Introduction générale

Un diviseur de puissance Wilkinson est un circuit utilisé dans les systèmes micro-ondes pour diviser la puissance d'entrée en deux sorties tout en maintenant l'adaptation d'impédance sur tous les ports. Il est largement utilisé dans les fréquences radio des systèmes multicanaux pour minimiser la diaphonie. Le circuit est constitué de composants passifs et est donc réversible, combinant ainsi efficacement les deux signaux. Il existe deux séries principales de diviseurs de puissance : les diviseurs de puissance « T » et les diviseurs de puissance Wilkinson. Les diviseurs de puissance Wilkinson utilisent deux transformateurs de ligne de transmission quarte d'onde parallèles et non couplés, ce qui les rend faciles à mettre en œuvre à l'aide de lignes de transmission PCB standard. La longueur de la ligne de transmission limite généralement la gamme de fréquences du diviseur Wilkinson aux fréquences supérieures à [500 MHz](#).

Au sein de la communauté RF et micro-ondes, les diviseurs de puissance ont joué un rôle de premier plan pendant des années. 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. Une autre application de diviseur de puissance et l'inspiration pour ce travail de thèse, se trouve dans un système de réseau d'antennes phases. Dans ce système, un signal est acheminé via un diviseur de puissance à répartition égale comportant un nombre spécifique de ports de sortie, ou une série de diviseurs de puissance à répartition égale. Les signaux divisés sont ensuite envoyés à travers des déphaseurs puis à un réseau d'antennes d'émission. La différence de phase entre chaque signal transmis permet un balayage électronique du faisceau, permettant au faisceau transmis d'être focalisé dans différentes directions en fonction de la différence de phase.

Parmi ces dispositifs passifs, on peut citer le diviseur de Wilkinson, la ligne secondaire et la rate de race. Ces diviseurs de puissance ont une bande passante étroite et occupent de grandes tailles, ce qui limite 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) [1].

introduction générale

L'objectif principal de cette étude est la conception d'un diviseur de puissance Wilkinson en Bande Ka.

Le présent mémoire est organisé comme suit

Dans le premier chapitre, un panorama sur l'état de l'art du diviseur de puissance Wilkinson est effectué. Le deuxième chapitre est consacré au base de conception des diviseurs de Wilkinson. Le troisième chapitre résume les étapes suivie pour la conception de notre diviseur de puissance Wilkinson et discussion des résultats obtenues. Ce mémoire est commencé par une introduction et termine par une conclusion générale qui donne un résumé sur le travail fait.

Chapitre I

Etat de l'art sur le diviseur de puissance Wilkinson

I. Introduction

Le diviseur de puissance Wilkinson est un circuit d'une famille de diviseurs de puissance utilisés dans les systèmes micro-ondes. Il isole les ports de sortie les uns des autres tous en maintenant la correspondance d'impédance sur tous les ports. Ce circuit peut être utilisé pour combiner deux signaux car il est constitué de composants passifs et est donc réciproque. Il est très efficace pour minimiser la diaphonie. Il existe deux séries principales de diviseurs de puissance : les diviseurs de puissance « T » et les diviseurs de puissance Wilkinson. Les diviseurs de puissance Wilkinson conviennent aux ports 2 et 3 à travers lesquels se produisent des pertes d'excitation. L'introduction volontaire de pertes par résistance supplémentaire permet d'ajuster les trois accès. La plupart des répartiteurs de puissance divisent l'énergie incidente au niveau du port 1 en deux parties sur les ports 2 et 3 [2].

I.1. Etude théorique d'un diviseur de puissance

Les diviseurs de puissance sont des composants passifs très utilisés dans le domaine des micro-ondes et RF. En division de puissance, un signal d'entrée est divisé en deux (ou plus) signaux de sortie de puissance moindre, alors qu'un combinateur de puissance mélange deux signaux d'entrée ou plus et les combine sur un port de sortie. Le diviseur peut avoir N ports (trois ports, quatre ports ou plus), et on peut le considérer, idéalement, sans perte. Les réseaux à trois ports prennent la forme d'une jonction T et c'est le cas d'un diviseur de puissance, tandis que les réseaux à quatre ports prennent des autres formes. Généralement, les diviseurs de puissance donnent des signaux de sortie en phase avec un rapport de division de puissance égale (-3 dB), mais des rapports de division de puissance inégaux sont également possibles. Les jonctions hybrides présentent un décalage de phase de 90° ou de 180° entre les deux ports de sortie. Les premiers diviseurs de puissance ont été inventés et caractérisés au laboratoire de radiation du MIT dans les années 1940. Au milieu des années 1950, beaucoup de ces diviseurs ont été réinventés en utilisant la technologie micro - ruban (imprimée). L'utilisation croissante des lignes planaires a également conduit au développement de nouveaux types des diviseurs, tels que le diviseur de Wilkinson et le diviseur de Gysel.

Nous aborderons d'abord les propriétés générales des réseaux à trois ports, puis nous traitons l'analyse et la conception de quelques types les plus courants de diviseurs de puissance [3].

I.2. Types d'un diviseur de puissance Wilkinson

Il existe trois types de diviseur de puissance, à savoir le diviseur de puissance à jonction T, le diviseur de puissance résistif et le diviseur de puissance de Wilkinson. Pour une adaptation parfaite et une isolation élevée entre les ports de sortie, le diviseur de puissance de Wilkinson est largement utilisé. Le diviseur de puissance résistif est largement utilisé dans instruments en raison de leur fonctionnement à large bande malgré la perte de la puissance délivrée.

Dans ce chapitre, nous allons traiter quelques types :

I.2.1 Diviseur de Wilkinson résistif

Un diviseur de tension résistif Wilkinson est un type de diviseur de puissance utilisé dans les systèmes micro-ondes **Figure (I.1)**. Il fait partie d'une famille de diviseurs de puissance conçus pour isoler les ports de sortie les uns des autres toutes en maintenant l'adaptation d'impédance sur tous les ports. Ce circuit peut être utilisé pour combiner deux signaux et comme il est constitué de composants passifs, il est réciproque. Il est très efficace pour minimiser la diaphonie dans les systèmes multicanaux.

Le répartiteur de puissance Wilkinson est conçu pour diviser l'énergie incidente au port 1 en deux parties égales aux ports 2 et 3. Ils peuvent également être adaptés aux ports 2 et 3 et véhiculer des pertes d'excitation via ces ports **Figure (I.2)**. Introduire volontairement des pertes via une résistance supplémentaire, permettant d'adapter trois méthodes d'accès [4].



Fig. I.1. Diviseur de puissance résistif à trois ports : photographie

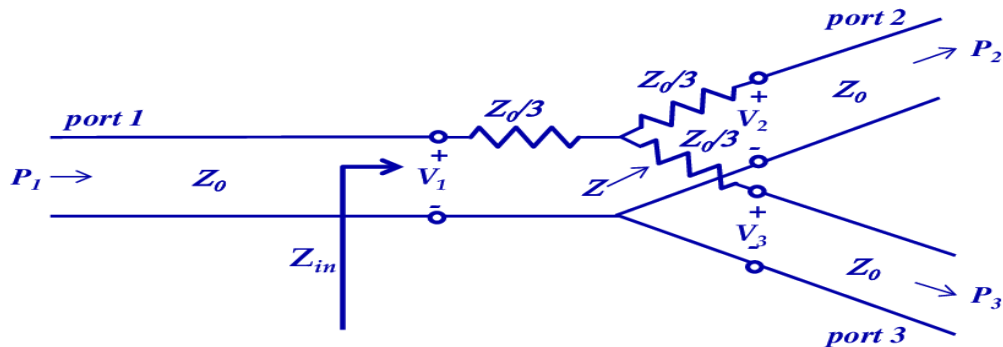


Fig. I.2. Diviseur de puissance résistif à trois ports à répartition égal.

Le diviseur résistif peut facilement être analysé en utilisant la théorie des circuits. En supposant que tous les ports se terminent par l'impédance caractéristique Z_0 . L'impédance Z , vue à la résistance $Z_0/3$ suivie par l'impédance de terminaison

est :

$$Z = \frac{z_0}{3} + Z_0 = \frac{4Z_0}{3} \quad (1.1)$$

Alors l'impédance d'entrée du diviseur est :

$$Z_{in} = \frac{z_0}{3} + \frac{2Z_0}{3} = Z_0 \quad (1.2)$$

Ce qui montre que l'entrée est adaptée à la ligne d'alimentation. Le réseau étant symétrique des trois ports, les ports de sortie sont également adaptés. Ainsi,

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = 0 \quad (1.3)$$

Ainsi, $S_{21} = S_{31} = S_{23} = 1/2$, de sorte que les puissances de sortie sont inférieures à 6 dB par rapport à la puissance d'entrée. Le réseau est réciproque, la matrice de répartition est donc symétrique et peut se réduire à

$$[S] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

Chapitre I : Etat de l'art sur le diviseur de puissance Wilkinson

On peut vérifier qu'il ne s'agit pas d'une matrice unitaire. La puissance délivrée à l'entrée du diviseur est :

$$P_{in} = \frac{1}{2} \cdot V_1^2 / Z_0 \quad (1.5)$$

Tandis que les puissances de sortie sont :

$$P_2 = P_3 = \frac{1}{2} (1/2 \cdot V_1^2)^2 / Z_0 = \frac{1}{8} V_1^2 / Z_0 = \frac{1}{4} P_{in} \quad (1.6)$$

Ce qui montre que la moitié de la puissance fournie est dissipée dans les résistances [1].

I.2.2 Diviseur de Wilkinson à N voies

Pour un diviseur de tension Wilkinson à n voies, le principe reste le même **Figure (I.3)**. Par exemple, un répartiteur de puissance Wilkinson à 4 voies possède un seul port d'entrée et 4 ports de sortie en phase, idéalement 1/4 fois la puissance d'entrée. De même, le répartiteur 3 voies Wilkinson permet d'utiliser 3 antennes avec un seul amplificateur de signal mobile [5].

Ce diviseur peut être utilisé comme un combineur qui fournit une combinaison de puissances provenant des N sources de signal. Ici, l'impédance d'entrée des lignes de transmission N_i (connectées en parallèle) avec l'impédance caractéristique de Z_0 est égale à Z_0 / N [1].

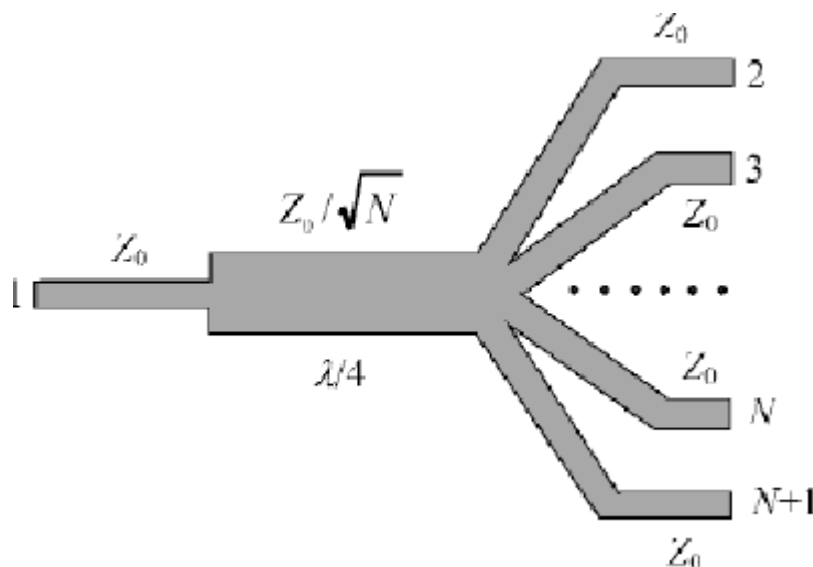


Fig.I.3. Diviseur de puissance à N voies

I.2.3 Diviseur de Wilkinson passe-bande compact avec suppression des harmoniques

Dans ce cas, un passe-bande micro ruban compact WPD avec suppression de la 8^{ième} harmonique est conçu. Dans la structure conçue, les lignes de transmission quart d'onde sont remplacées par un BPF pour avoir un WPD en forme de bande passante et pour obtenir la suppression des harmoniques souhaitée. Des lignes de couplage asymétriques, des lignes à faible impédance et des lignes de couplage de troisième ordre ont été appliquées pour concevoir le filtre passe-bande (BPF) avec une région de bande d'arrêt supérieure étendue. La fréquence de fonctionnement centrale du WPD est située à 2.45 GHz et la taille du circuit physique n'est que de 29,4 mm 22,6 mm Le filtre passe-bande appliqué a été analysé, puis le WPD proposé a été conçu et fabriqué [6].

I.3 Reconfigurable dans les diviseurs de Wilkinson

I.3.1 Commutateurs RF

Un commutateur RF, aussi connu sous le nom de commutateur micro-ondes, est un équipement utilisé pour diriger des signaux haute fréquence à travers des voies de transmission. Les commutateurs RF (Radio Fréquence) sont largement utilisés dans les systèmes de test en micro-ondes pour aiguiller le signal entre les instruments. En intégrant un commutateur dans un système matriciel de commutation, ils permettent de transmettre les signaux de multiples instruments vers un ou plusieurs DUT (Dispositifs en Cours de Test). De nombreux tests peuvent être effectués avec la même configuration, éliminant ainsi le besoin de connexions et déconnexions fréquentes [7].

Ces commutateurs RF ont des avantages en termes de leurs très faibles pertes d'insertion sur une bande de 40GHz et plus.

Les commutateurs peuvent être modélisés par différents niveaux de complexité, en fonction de la précision nécessaire et des ressources de calcul disponible. Au niveau de base, l'interrupteur peut être modélisé simplement par une languette métallique pour pouvoir commuter entre les deux états des diodes ON et OFF, c.-à-d. remplacer la diode par la présence ou l'absence du morceau de métal. Ces commutateurs sont utilisés pour acheminer les signaux vers le canal voulu, on les trouve beaucoup plus dans les systèmes d'antennes en diversité.

Trois dispositifs sont couramment utilisés en commutations micro-onde : les MEMS **Figure (I.4)**, les transistors à effet de champs (FET) et les diodes PIN.

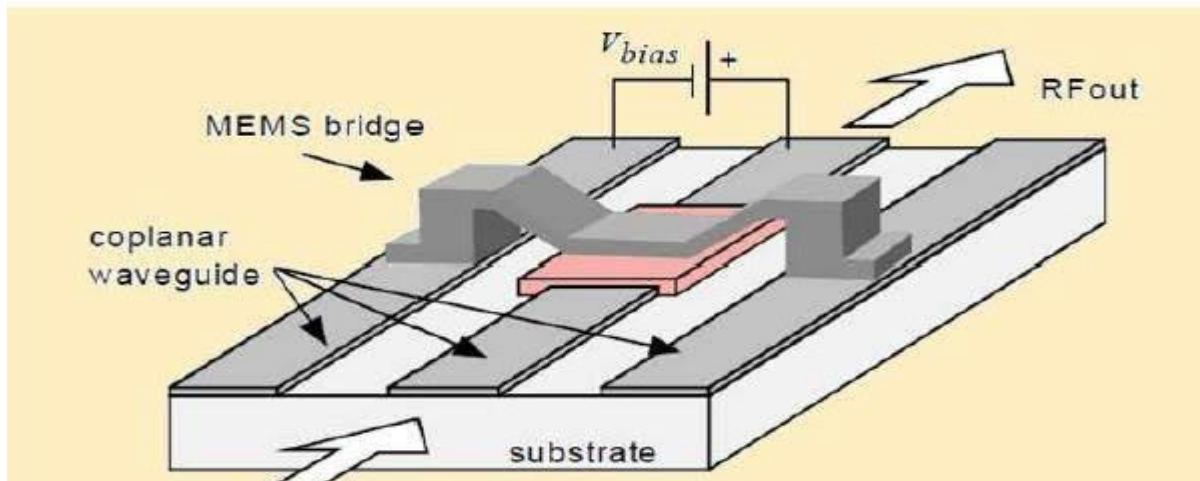


Fig. I.4. Commutateur MEMS

I.3.2 Diodes PIN

Une diode PIN, abréviation de Positive Intrinsèque Négative diode, **Figure (I.5)** est une diode composée d'une zone non dopée, appelée intrinsèque I, située entre deux zones dopées P et N. Lorsqu'une diode PIN est polarisée en direct (passante), elle présente une très faible impédance dynamique (par rapport aux signaux variables). En revanche, lorsqu'elle est polarisée en inverse (bloquée), elle affiche une très grande impédance et une capacité très faible (se comportant comme un condensateur de très faible valeur, quelques pico coulombs, voire même moins selon les modèles).



Fig. I.5. Schéma d'une diode PIN

Par rapport à une diode PN standard de taille similaire, les diodes PIN présentent une meilleure tenue en tension [8] et une capacité de jonction plus faible. Lorsqu'une diode PIN est polarisée en direct (dans le sens passant), elle se comporte comme une résistance contrôlée par le courant de polarisation. La résistance équivalente dépend de la largeur de la zone non

dopée et est inversement proportionnelle au courant de polarisation [8]. Cette propriété conduit à l'utilisation de ces diodes en tant qu'atténuateur et interrupteur pour les radiofréquences : le passage des hautes fréquences est contrôlé par le courant de polarisation.

I.3.3. 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 Ω à 10 k Ω (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.

3.4 Applications de la diode PIN en RF

La diode PIN est très utilisée dans les applications de commutation. Elle permet d'obtenir un court-circuit idéal dans l'état ON et également un bon circuit ouvert dans l'état OFF. Dans les systèmes radars modernes, la diode PIN est largement utilisée pour la fonction de limitations de puissance afin de protéger les chaînes de réceptions. De même, Les diodes PIN sont largement utilisées dans les circuits d'atténuation pour le contrôle du niveau et de la phase des signaux hyperfréquences (contrôle automatique de gain (AGC) et de contrôle de puissance) [1].

I.4 Les fondamentaux du diviseur de puissance de Wilkinson

Le diviseur de puissance Wilkinson est basé sur les principes suivants :

- ❖ Séparation des signaux : le diviseur de puissance Wilkinson utilise une ligne de transmission à haute impédance pour séparer le signal d'entrée en deux signaux de sortie de même amplitude.

- ❖ **Préservation de l'énergie** : le diviseur de puissance Wilkinson veille à ce que l'énergie du signal d'entrée soit répartie de façon équitable entre les deux signaux de sortie, assurant ainsi la conservation totale de l'énergie.
- ❖ **Adaptation d'impédance** : conçu pour assurer une adaptation d'impédance optimale entre l'entrée et les deux sorties, le diviseur de puissance Wilkinson minimise les pertes d'insertion et les réflexions.
- ❖ **Symétrie** : le diviseur de puissance Wilkinson est symétrique par rapport à l'axe central, assurant des performances équilibrées des deux branches de sortie[9].

I.5 Avantages de diviseur de puissance Wilkinson

- **Isolation entre les ports de sortie** : L'une des caractéristiques les plus importantes du diviseur de puissance de Wilkinson est l'isolation entre les ports de sortie. Cela signifie que toute variation de signal ou charge sur un port de sortie n'affecte pas les autres ports. Cela est crucial pour éviter les interférences et les réflexions indésirables dans les systèmes RF.
- **Correspondance d'impédance** : Le diviseur de Wilkinson est conçu pour assurer une correspondance d'impédance parfaite (généralement 50 ohms) à tous les ports. Cela minimise les pertes de réflexion et maximise l'efficacité de la transmission du signal.
- **Faibles pertes d'insertion** : En raison de sa conception, le diviseur de puissance de Wilkinson présente des pertes d'insertion très faibles, ce qui signifie que très peu d'énergie est perdue lors du processus de division du signal. Ceci est particulièrement important dans les applications RF où l'efficacité énergétique est critique.
- **Simplicité de conception** : Le diviseur de Wilkinson utilise une topologie relativement simple, avec des lignes de transmission et des résistances qui sont faciles à fabriquer et à intégrer dans des circuits plus complexes.
- **Large bande passante** : Les diviseurs de puissance de Wilkinson peuvent être conçus pour fonctionner sur une large gamme de fréquences, ce qui les rend très polyvalents pour diverses applications RF et micro-ondes.
- **Stabilité thermique et mécanique** : Les composants utilisés dans les diviseurs de Wilkinson sont généralement stables thermiquement et mécaniquement, ce qui assure une performance fiable et constante dans des conditions variées.
- Ces avantages font du diviseur de puissance de Wilkinson un choix populaire dans de nombreuses applications RF, notamment dans les réseaux de distribution de signaux, les systèmes de communication sans fil, et les équipements de test et de mesure [10].

I.6 Inconvénient de diviseur de puissance Wilkinson

. Perte d'insertion : Le diviseur de puissance Wilkinson génère des pertes d'insertion en raison de la perte de puissance due aux composants passifs utilisés dans sa conception.

. Perte de puissance : En raison de la division de la puissance entre les ports de sortie, le diviseur de puissance Wilkinson peut entraîner une perte de puissance significative, ce qui peut affecter les performances du système global.

. Impédance non adaptée : Le diviseur de puissance Wilkinson peut entraîner une mauvaise adaptation d'impédance entre les ports d'entrée et de sortie, ce qui peut entraîner des réflexions de puissance et des pertes d'efficacité du système.

. Sensibilité aux variations de fréquence : Le diviseur de puissance Wilkinson peut être sensible aux variations de fréquence, ce qui peut entraîner une distorsion du signal et une réduction des performances globales du système.

- . Coût élevé : En raison de sa conception complexe et de ses exigences en termes de précision et de performances, le diviseur de puissance Wilkinson peut être coûteux à fabriquer et à intégrer dans un système [10].

Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu une étude théorique d'un diviseur de puissance. Après un état de l'art sur les diviseurs de puissance, nous avons présenté quelque type de diviseur de puissance Wilkinson et leur avantages et inconvénients.

Chapitre II

Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

Introduction

Parmi les diviseurs de puissance les plus utilisées dans le domaine de télécommunications (réseaux d'antennes, réseaux mobile, système radar, communications par satellite, applications militaires et de même le guidage des missiles) on peut citer le diviseur de Wilkinson [3]. Dans ce chapitre, on va étudier l'effet de quelques paramètres physique et électrique d'un diviseur de puissance de type de WILKINSON Suggestion Afin de savoir comment les dimensions physiques du composant affectent la fréquence et la bande passante de fonctionnement.et l'analyse WBD (Wilkinson power divider) et leur application [1].

II.1 Les paramètres d'un diviseur de puissance

Il existe plusieurs paramètres qui permettent de caractériser les performances d'un diviseur de puissance, tel que :

II.1.1 Les pertes d'insertion

Les pertes de puissance dans un signal, au sein d'une ligne de transmission, à cause de l'insertion d'un dispositif sont connues par les pertes d'insertion et généralement exprimée en décibels (dB). Comme tout élément microonde, l'insertion d'un diviseur de puissance dans une matrice d'alimentation va atténuer le signal transmis à l'antenne. Cette atténuation a deux origines :

- Des pertes, de même nature que celles introduites par un connecteur, par exemple (rayonnement par fuite, résistance des contacts, défaut d'isolation, ...). Si la ligne de transmission a ses deux extrémités en l'air, ces pertes ont une certaine valeur de l'ordre de 0.1 dB.
- La puissance réfléchiée et due au couplage. Pour un diviseur de puissance dont le facteur de couplage est de 10 dB, ce prélèvement est de 10%, la puissance en sortie sera égale à 90% de la puissance en entrée, ce qui correspondra à une perte de 0.45dB entre les deux ports P1 et P2.

Les pertes d'insertion sont définies comme un rapport de la puissance de sortie à la puissance d'entrée.

$$1L = 10. \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_e} \right) \quad (\text{II.1})$$

Avec P_e et P_s sont les puissances d'entrée et de sortie, respectivement [3].

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

II.1.2 L'isolation

L'isolation est désignée pour un coupleur directionnel et peut être définie comme une différence dans les niveaux des puissances en dB entre le port d'entrée et le port d'isolé quand les deux ports de sortie sont adaptés et on écrit :

$$1 \text{ en dB} = -10 \log_{10} \left(\frac{P_4}{P_1} \right) \quad (\text{II.2})$$

II.1.3 La directivité

La directivité d'un coupleur est liée à l'isolement entre les deux ports P3 et P4. La directivité est une mesure de la capacité du coupleur à isoler les ondes transmises et réfléchiées, tout comme l'isolation :

$$D_{\text{dB}} = -10 \log_{10} \left(\frac{P_3}{P_4} \right) \quad (\text{II.3})$$

II.2 Analyse d'un diviseur de puissance Wilkinson

Le diviseur de puissance de Wilkinson (WPD) est un réseau à trois ports avec pertes, on suppose que tous les ports sont adaptés, avec une bonne isolation entre les deux ports de sortie. Il comprend deux lignes de transmission dont la longueur est égale au quart de la longueur d'onde $L = \lambda/4$, avec λ est la longueur d'onde. Chaque ligne ayant une impédance caractéristique de $\sqrt{2}Z_0$ et une résistance d'isolement $R = 2Z_0$.

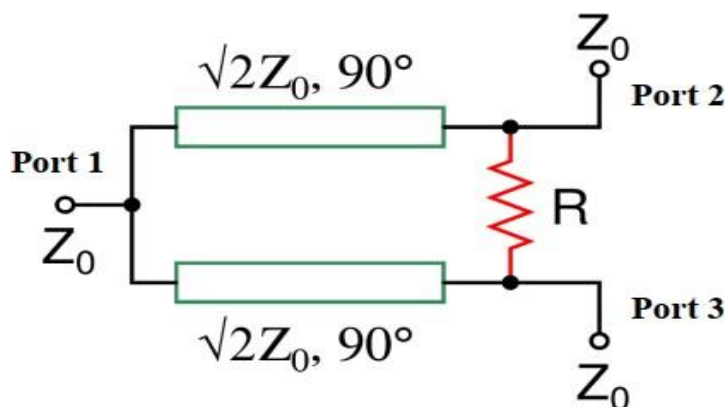


Figure II.1 : Un diviseur de Wilkinson à deux voies de puissance égales.

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

Le schéma d'un WPD à deux sorties de puissance identique est illustré à la Figure II.1.

Lorsqu'un signal entre dans le port 1, il se divise en sortie à deux signaux de même amplitudes et de même phases aux ports 2 et 3. En raison de la symétrie, chaque borne de la

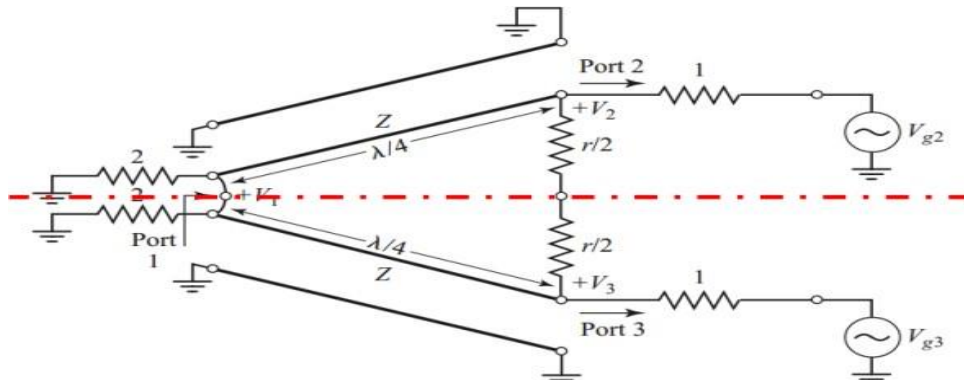


Figure II.2 : La forme symétrique et normalisée du WPD

résistance d'isolation a même potentiel que l'autre, aucun courant ne la traverse et la résistance est donc découplée de l'entrée. Ainsi, l'opération se résume à l'adéquation de $R=2Z_0$ à Z_0 , car les deux branches sont en parallèle. La propriété de $\lambda/4$ facilite cette transformation d'impédance et les impédances caractéristiques de ces deux lignes doivent être égales à $1.414Z_0$.

Le WPD peut être facilement analysé en utilisant la procédure en mode pair-impair. Le WPD illustré précédemment à la Figure II.1 est redessiné à la Figure II.2 de manière symétrique et de forme normalisée. Dans la forme normalisée, chaque impédance est divisée par l'impédance caractéristique de la ligne d'entrée Z_0 .

Dans le cas du mode pair, la même source de tension est appliquée aux ports 2 et 3 ($V_{g2} = V_{g3} = 2V_0$) et de la symétrie de la structure il ne résulte qu'aucun courant ne circule dans l'impédance $2Z$ (circuit ouvert), par conséquent le circuit se simplifie comme illustré dans la

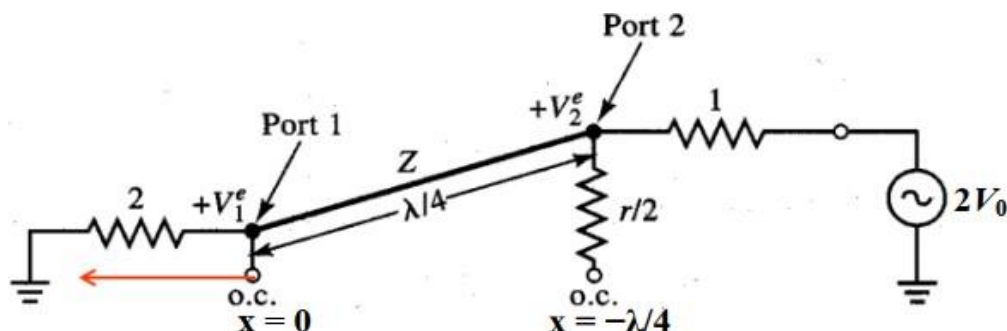


Figure II.3.

Figure II.3 : Le circuit équivalent du WPD en mode pair.

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

D'autre part, dans le mode impair, $V_{g2} = -V_{g3} = 2V_0$ et, par conséquent, le mode impair a pour effet d'introduire une masse virtuelle au port 1, et au centre de l'impédance $2Z$, c-à-d., chaque point le long de l'axe de symétrie est court-circuité. Le circuit équivalent est donné dans la Figure II.4.

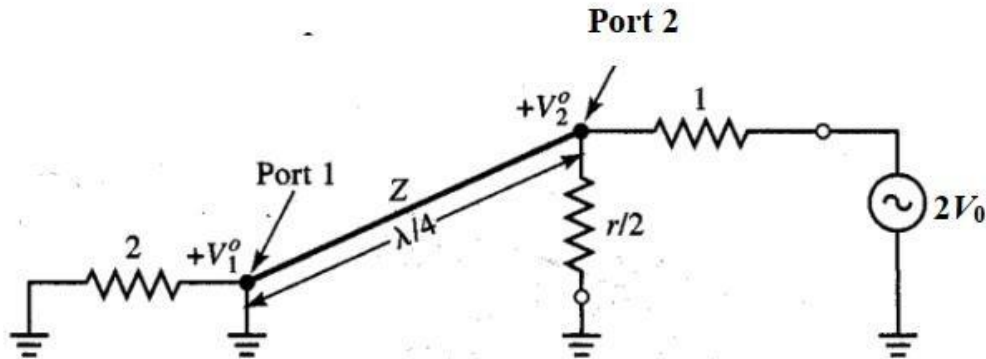


Figure II.4 : Le Circuit équivalent en mode impair du WPD.

Dans le demi-circuit en mode pair illustré à la Figure II.3, Il est évident que la résistance d'isolation (ou d'équilibre) n'a aucun rôle dans ce mode car celui est équivalente à un circuit ouvert. Par conséquent, l'impédance d'entrée au port 2 dans ce mode est donnée par :

$$Z_{in}^e = \frac{Z^2}{2} \quad (II.4)$$

Puisque, pour l'adaptation, $Z_{in}^e = 1$ et $Z = \sqrt{2}$. De plus, $V_{in}^e = V_0$ en utilisant le théorème d'un diviseur de tension. Supposons maintenant que l'axe des abscisses est comme illustré à la Figure II.3, la tension sur la ligne de transmission peut être exprimée comme suit :

$$V(x) = V^+(e^{-j\beta x} + \Gamma e^{j\beta x}) \quad (II.5)$$

$$V_2^e = jV(1 - \Gamma) = V_0 \quad (II.6)$$

Qui donne,

$$V_1^e = V^+(1 + \Gamma) = jV_0 \frac{+1}{-1} \quad (II.7)$$

$$\text{Puisque, } \Gamma = \frac{2-\sqrt{2}}{2+\sqrt{2}} \text{ donc } V_1^e = -j\sqrt{2} V_0 \quad (II.8)$$

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

Pour une excitation en mode impair, le demi-circuit est illustré à la Figure II.5. Puisque le port 1 est court-circuité et que la ligne a une longueur de $\lambda / 4$, l'impédance d'entrée de la ligne au port 2 est infini. Et donc, pour faire une adaptation au port 2, $r = 2$. Alors, $V_1^0 = 0$ et $V_2^0 = V_0$.

Enfin, comme indiqué précédemment, le circuit équivalent est constitué de deux lignes de quart longueur d'onde connectées en parallèles au port d'entrée et chargées d'une résistance unitaire (la résistance d'isolement n'a aucun effet dû à l'absence d'une différence de potentiel entre ses bornes), l'impédance d'entrée normalisée est égale à 1.

Après cette analyse, on peut conclure que,

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = S_{23} = S_{32} = 0 \quad (\text{II.9})$$

$$S_{12} = S_{21} = S_{13} = S_{31} = -j\sqrt{2} \quad (\text{II.10})$$

La matrice des paramètres de répartition du diviseur de Wilkinson devient

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} 0 & -j/\sqrt{2} & -j/\sqrt{2} \\ -j/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ -j/\sqrt{2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.11})$$

[3]

La matrice S montre que :

- ♣ Le réseau est réciproque $S_{ij} = S_{ji}$;
- ♣ Les trois ports sont adaptés $S_{11} = S_{22} = S_{33} = 0$;
- ♣ Les deux ports de sortie sont isolés $S_{23} = S_{32} = 0$;
- ♣ Une division égale de puissance est effectuée $S_{21} = S_{31}$;
- ♣ La matrice n'est pas unitaire car le réseau n'est pas sans perte ;

Dans le cas où les signaux des ports 2 et 3 sont en phase et ont la même amplitude le diviseur de Wilkinson n'introduira pas de pertes de transmission[11].

II. 3 Etude paramétrique d'un diviseur de puissance

II.3.1 Choix de l'outil de simulation

Il existe un grand nombre des simulateur sélectromagnétique consacrés pour la conception des différents circuits micro on des passifs et actifs(Antennes, filtres RF, des coupleurs, des diviseurs de puissance et des autres). Parmi ces simulateurs, on peut citer le FEKO, Ansoft Designer, le HFSS, ADS et le CST studio.

On va voir, dans ce mémoire, une étude paramétrique de diviseur de puissance en utilisant le simulateur l'ADS version 2019. Cette étude permet de voir l'effet des différents paramètres physiques (dimensions de diviseur conçu) sur les caractéristiques et les performances de ce diviseur .Ce simulateur a plusieurs espaces et interfaces de conception tels que le concepteur de schéma en utilisant des éléments passifs et actifs (schématic designer) et le concepteur des formes (layout).La génération d'une interface va produire la deuxième automatiquement De même ,vous pouvez créer un schéma de forme puis l'insérer dans l'interface des concepteurs des circuits a fin d'ajouter des éléments passifs(résistances,inductance)ou des éléments actifs(diode PIN,...).

L'interface de ce simulateurs illustrée dans la Figure II.5.

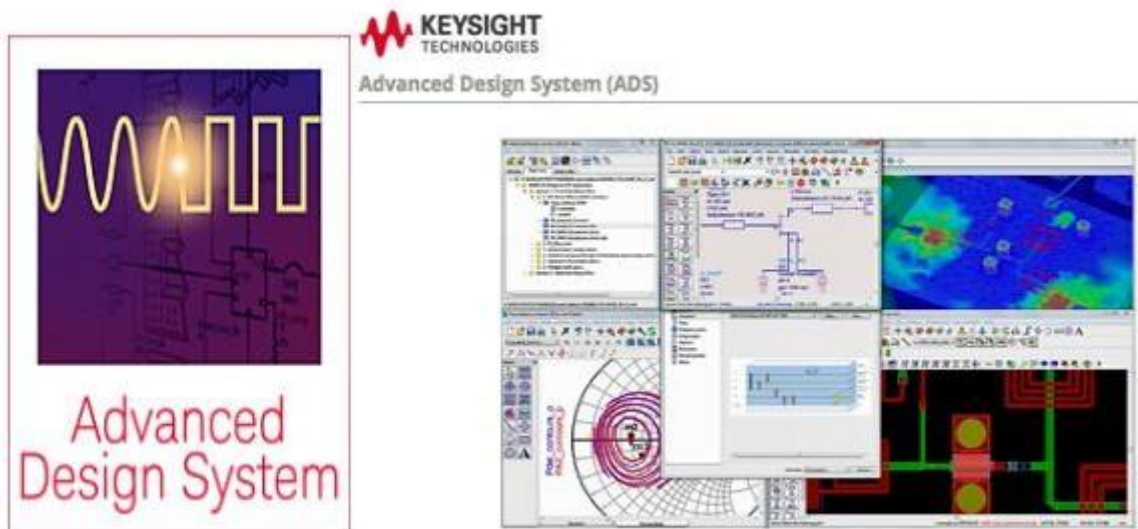


Figure II.5: Une interface graphique du simulateur ADS2019. [3]

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

La version actuel Ede ce simulateur est constituée d'un outil Lincalc ,ce qui nous permet d'avoir une idée sur l'adaptation des différents ports et l'impédance d'entrée nécessaire avec les dimensions de la ligne de transmission (largeur w) et le substrat diélectrique. Cet outil est primordial pour les deux problèmes d'analyse et de synthèse .Cet outil est basé sur les équations de synthèse de Wheeler[3].

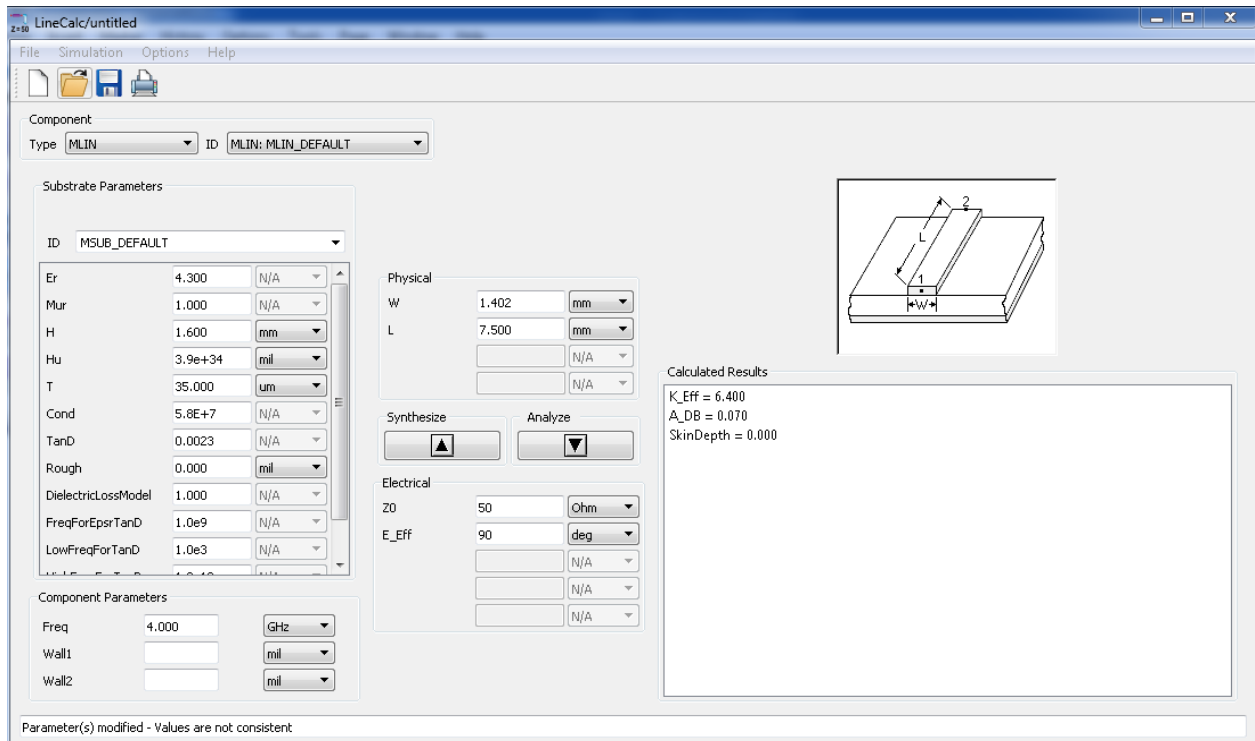


Figure II.6: Une interface de l'outil Lincalc du simulateur ADS.

Pendant l'étude paramétrique, on doit varier un seul paramètre physique et les autres paramètres doivent être fixés ce qui permet de voir l'effet de paramètre varié sur les caractéristiques du diviseur conçu. Parmi les caractéristiques prises en considérations; on cite la fréquence de fonctionnement (à partir des paramètres S : le coefficient de réflexion) et la largeur de la bande passante et haute isolation entre les ports de sortie. L'objectif de cette étude paramétrique est de voir la possibilité d'avoir un diviseur de puissance opérationnel sur une bande de fréquence autour de 2.4 GHz pour les applications WLAN.

II.3.2 La forme proposée

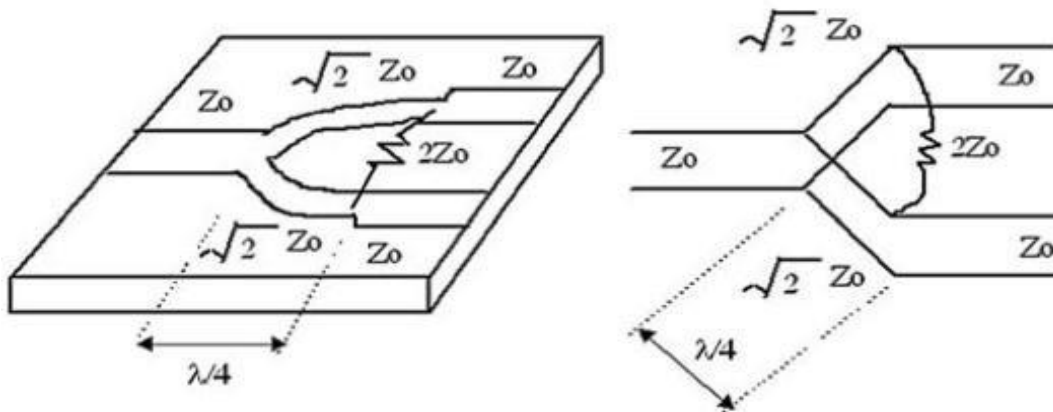


Figure II.7: Topologies simplées d'un diviseur de puissance à 2 ports [15]

En utilisant le simulateur ADS Momentum, on a créé le schéma électronique d'un diviseur de Wilkinson (Figure II.8).

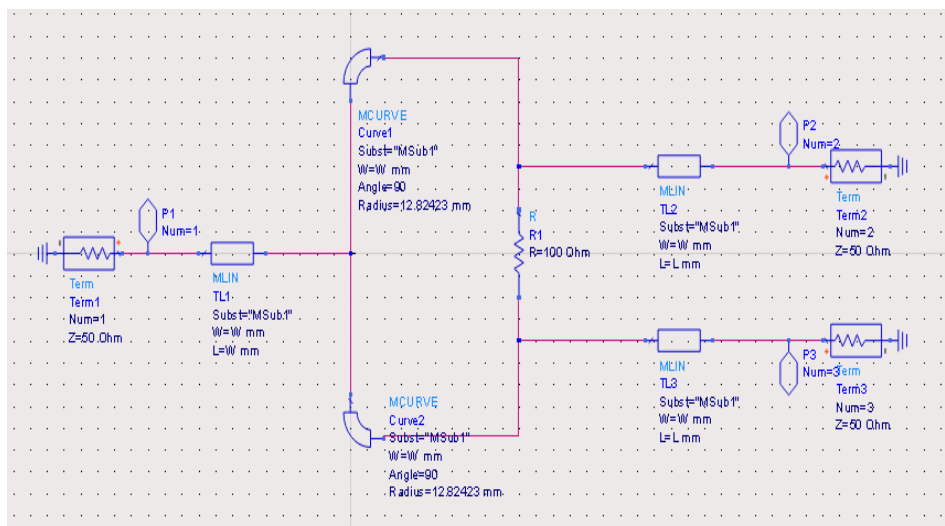


Figure II.8: Un schéma de module du diviseur WPD en utilisant le ADS.

Le substrat utilisé est de type FR4 (Flame Résistant 4) avec une permittivité relative $\epsilon_r=4.3$. La hauteur du substrat $h=1.6$ mm, l'angle de perte $\text{tg}(\alpha)=0.0023$ et le métal est du cuivre avec une épaisseur $T=35\mu\text{m}$.

II.3.3 Layout

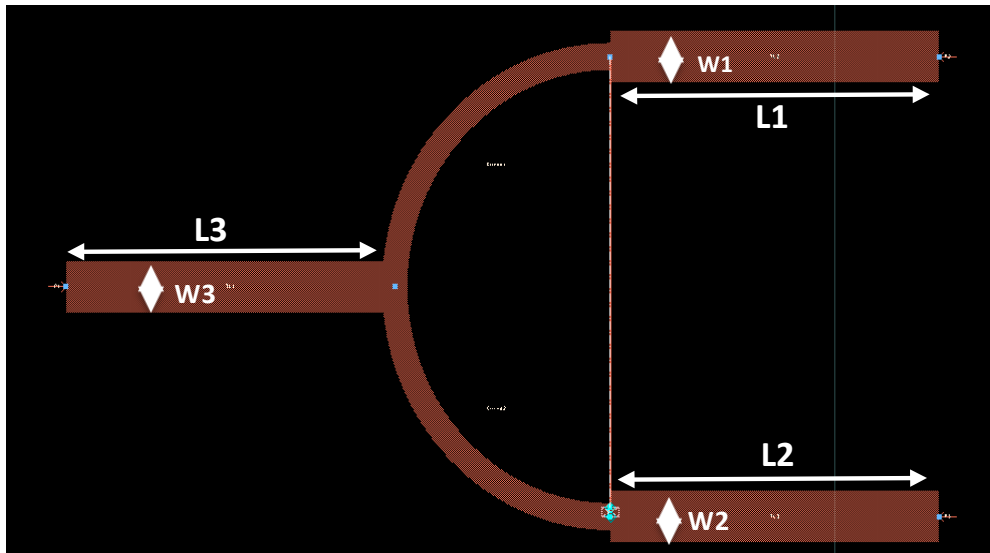


Figure II.9: Le schéma imprimé du diviseur de Wilkinson généré par le ADS.

Les différentes dimensions du diviseur conçus on illustrées dans le tableau suivant

Diviseur de puissance	Paramètres	Valeurs(mm)
WPD	$L1=L2=L3$	7.50
	$W1=W2=W3$	1.4023

Tableau II.1: Les dimensions d'un diviseur de puissance(WPD).

II.3.4 Etude paramétrique

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 diélectrique utilisé est de type FR4 avec une permittivité relative $\epsilon_r=3.6$.L'épaisseur de ce substrat est 1.6mm, l'angle de perte $tg(\alpha)=0.0013$ et l'épaisseur du cuivre

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

est $T=35\mu\text{m}$. L'évolution du coefficient de réflexion S_{11} est illustrée pour les différents cas possibles. On va varier un seul paramètre (longueur L_1) où les autres paramètres sont fixés comme elle stabilisés dans Tableau II.1.

➤ Effet de la variation de la longueur L_1

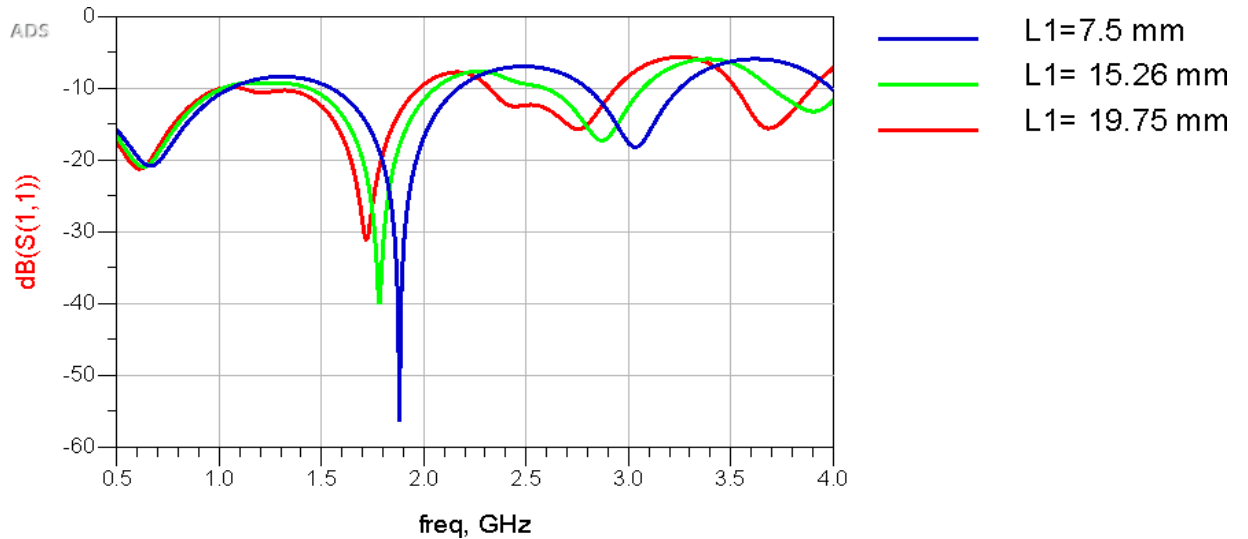


Figure II.10: L'évolution du coefficient S_{11} du Wilkinson avec un substrat de $\epsilon_r=3.6$ pour différentes valeurs de L_1 .

➤ Effet de la variation de la longueur L_2

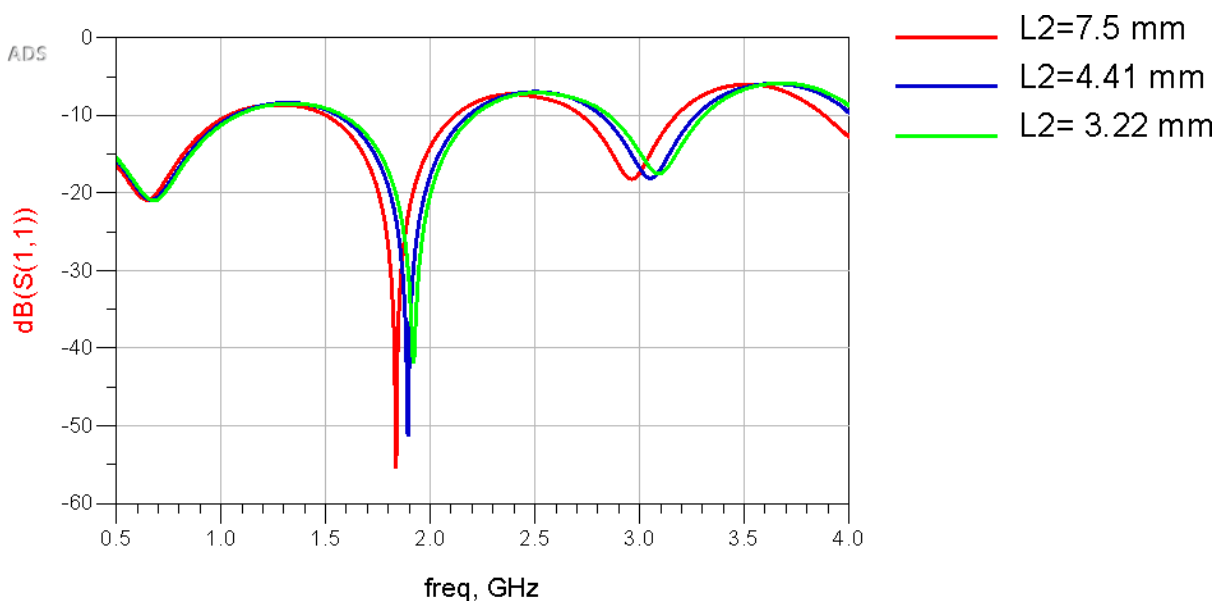


Figure II.11: L'évolution du coefficient S_{11} du Wilkinson avec un substrat de $\epsilon_r=3.6$ pour différentes valeurs de L_2 .

➤ Effet de la variation de la longueur L_3

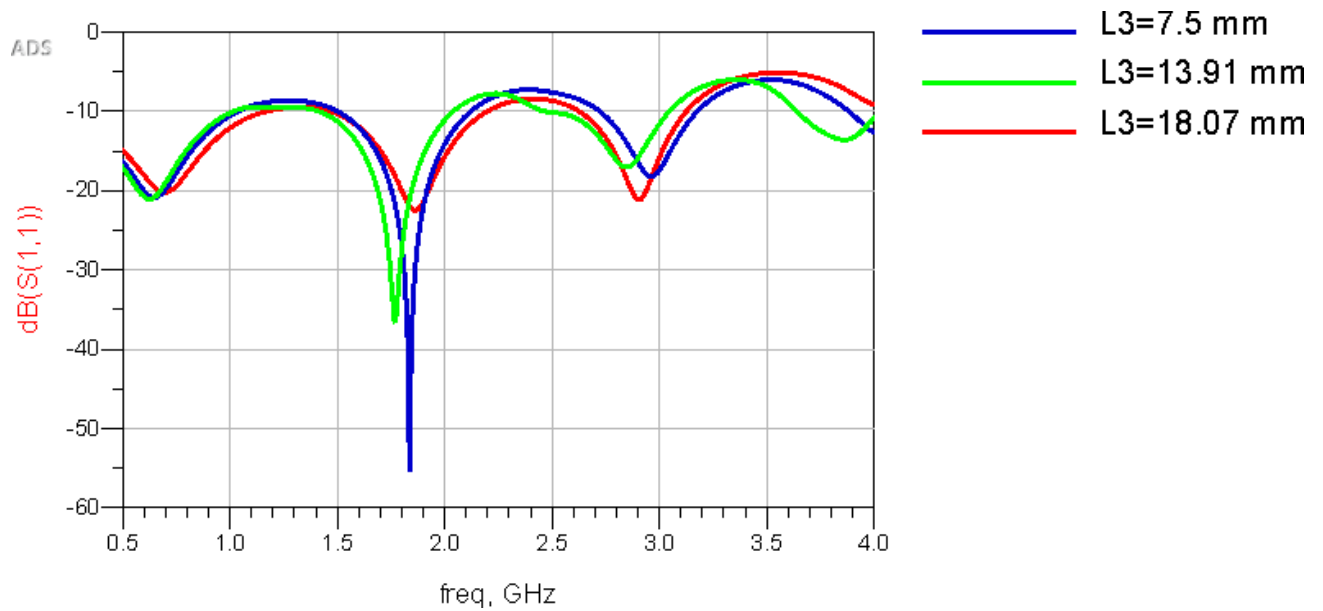


Figure II.12 : L'évolution du coefficient S_{11} du Wilkinson avec un substrat de $\epsilon_r=3.6$ pour différentes valeurs de L_3 .

D'après les trois cas étudiés dans ce premier exemple, on constate que la longueur L dans chaque port d'accès affecte sur la fréquence opérationnelle et de même sur l'adaptation à la fréquence opérationnelle elle-même.

• Deuxième exemple ($\epsilon_r=4.3$)

Le substrat diélectrique utilisé pour cet exemple est de type FR4 avec une permittivité relative $\epsilon_r=4.3$. Les autres paramètres sont similaires au premier exemple.

➤ Effet de la variation de la longueur L_1

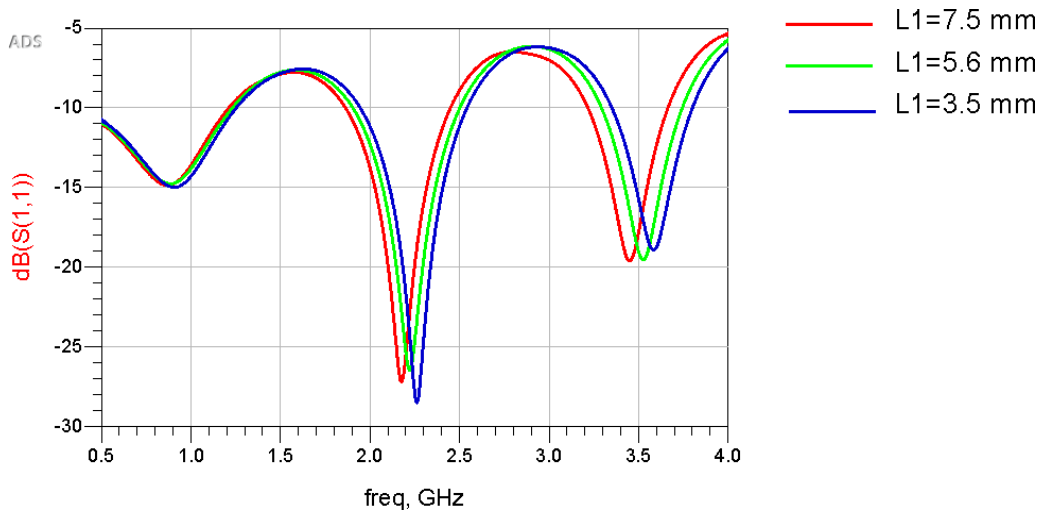


Figure II.13 : L'évolution du coefficient de réflexion S_{11} du WPD avec un substrat de $\epsilon_r=4.3$ pour différentes valeurs de L_1 .

➤ Effet de la variation de la longueur L_2

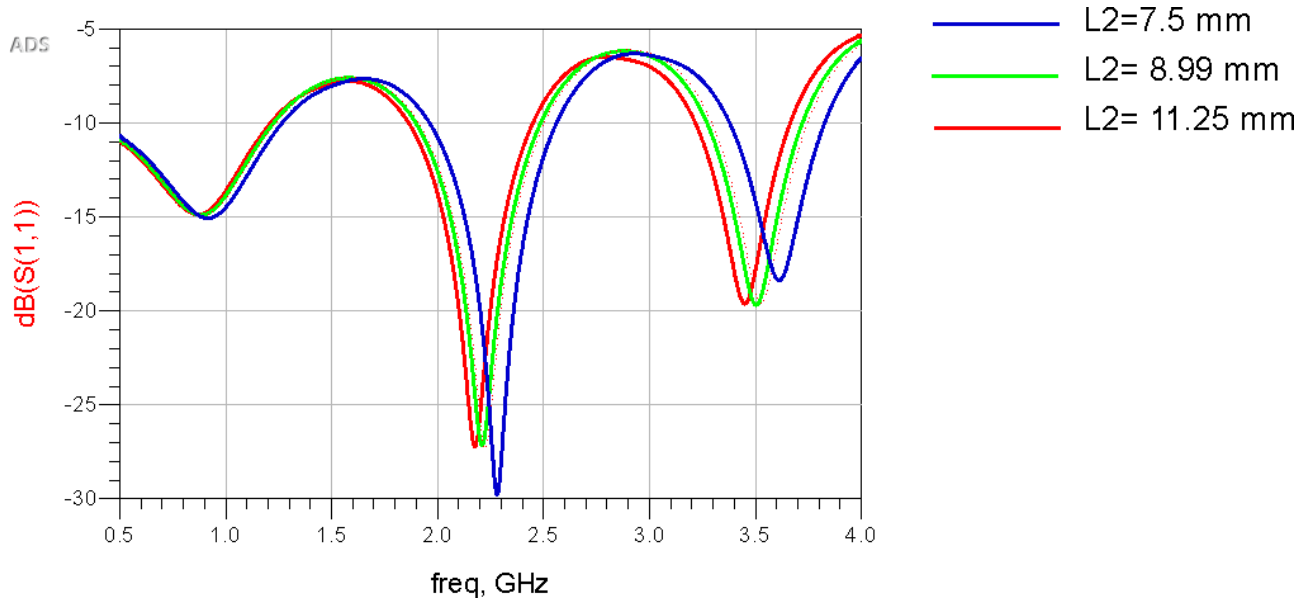


Figure II.14 : L'évolution du coefficient de réflexion S_{11} du WPD avec un substrat de $\epsilon_r=4.3$ pour différentes valeurs de L_2 .

On voit que la valeur de la fréquence opérationnelle est proportionnellement inverse avec la valeur de la longueur L_2 .

➤ Effet de variation de la longueur L_3

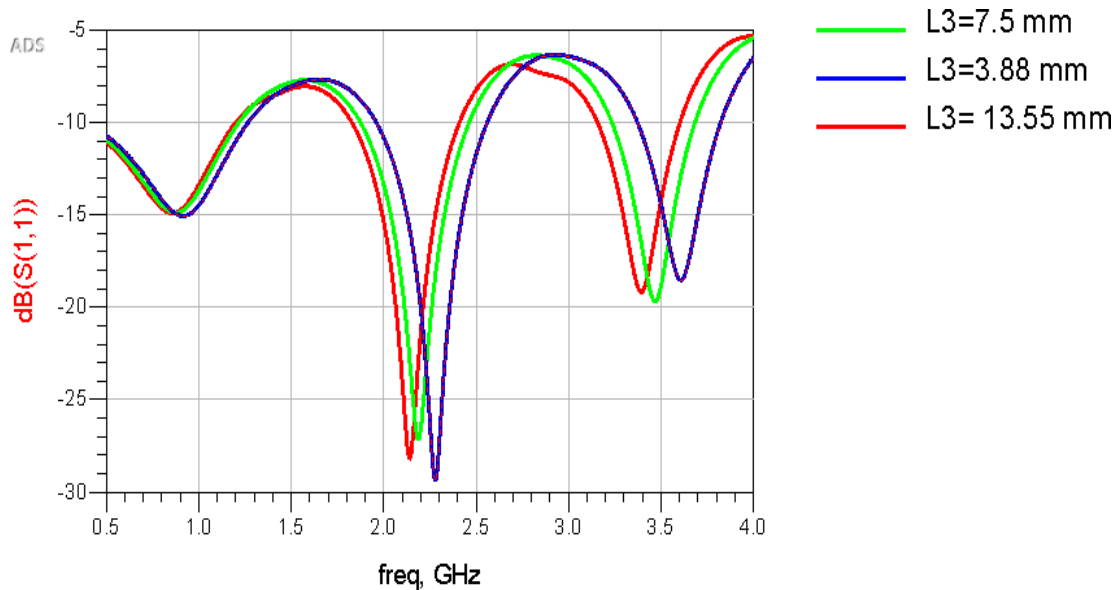


Figure II.15 : L'évolution du coefficient de réflexion S_{11} du WPD avec un substrat de $\epsilon_r=4.3$ pour différentes valeurs de L_3 .

De même pour ce deuxième exemple, la longueur L dans chaque port d'accès i affecte sur la fréquence opérationnelle et de même sur l'adaptation à la fréquence opérationnelle elle-même.

II.4 Paramètres géométriques diviseur de puissance Wilkinson

Les paramètres géométriques du diviseur de puissance Wilkinson déterminent ses performances électriques, telles que le facteur de division de puissance, l'adaptation d'entrée et de sortie, et l'isolation entre les ports de sortie. Les principaux paramètres géométriques sont les suivants:

II.4.1 Ratio d'impédance (Z_0/Z_0')

Le rapport d'impédance, noté Z_0/Z_0' , est un concept important dans l'analyse des **lignes de transmission**. Il représente le rapport entre l'impédance caractéristique de la ligne (Z_0) et l'impédance de charge (Z_0'). Il joue un rôle crucial dans la **transmission efficace des signaux** le long de la ligne.

➤ Définition:

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

L'impédance caractéristique (Z_0) d'une ligne de transmission est une propriété intrinsèque de la ligne, définie comme le rapport de la tension transitoire à l'intensité du courant transitoire à un point donné de la ligne. Elle dépend de la géométrie de la ligne, des propriétés des matériaux conducteurs et de la fréquence du signal.

L'impédance de charge (Z_o') est l'impédance vue à l'entrée de la ligne de transmission depuis son extrémité de charge. Elle représente la résistance et la réactance de la charge connectée à la ligne.

➤ Importance du ratio d'impédance:

Le rapport Z_0/Z_o' est crucial pour une transmission de signal optimale pour les raisons suivantes:

- **Adaptation d'impédance:** Un rapport Z_0/Z_o' de 1 indique une **adaptation d'impédance**, ce qui signifie que l'impédance de la ligne correspond parfaitement à l'impédance de la charge. Dans ce cas, les réflexions de signal sont minimisées, maximisant la puissance transférée à la charge et minimisant la distorsion du signal.

- **Minimisation des réflexions:** Des valeurs de Z_0/Z_o' différentes de 1 entraînent des **réflexions de signal**, où une partie de l'énergie du signal est réfléchi vers la source. Ces réflexions peuvent déformer le signal, réduire la puissance transférée et même endommager les composants.

- **Perte de puissance:** Les réflexions de signal dues à une mauvaise adaptation d'impédance se traduisent par une **perte de puissance**, réduisant l'efficacité de la transmission.

➤ Calcul du ratio d'impédance:

Le ratio Z_0/Z_o' peut être calculé en utilisant la formule suivante:

$$Z_0/Z_o' = (1 + \Gamma) / (1 - \Gamma)$$

où Γ est le **coefficient de réflexion**, qui représente la proportion de l'onde incidente réfléchi par la charge. Le coefficient de réflexion peut être calculé à l'aide de la formule suivante:

$$\Gamma = (Z_o' - Z_0) / (Z_o' + Z_0)$$

➤ Applications du ratio d'impédance:

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

Le concept du ratio d'impédance trouve des applications dans divers domaines, notamment:

- **Conception de lignes de transmission:** Le choix de la géométrie et des matériaux de la ligne de transmission est crucial pour obtenir une impédance caractéristique Z_0 adaptée à l'impédance de charge Z_o' de l'application prévue.

- **Adaptation d'impédance:** Des techniques d'adaptation d'impédance, telles que les **transformateurs d'impédance** et les **réseaux d'adaptation**, sont utilisées pour faire correspondre l'impédance d'une source ou d'une charge à l'impédance caractéristique d'une ligne de transmission.

- **Analyse de circuit à haute fréquence:** Dans les circuits à haute fréquence, les effets des lignes de transmission deviennent importants, et le ratio d'impédance est un paramètre clé pour analyser le comportement du circuit.

En conclusion, le ratio d'impédance (Z_0/Z_o') est un concept fondamental dans l'analyse des lignes de transmission et joue un rôle crucial dans la transmission efficace des signaux haute fréquence. La compréhension de ce concept est essentielle pour la conception et l'analyse de systèmes de communication et d'autres applications à haute fréquence.

II.4.2 Longueur de la ligne de transmission

La longueur d'une ligne de transmission joue un rôle crucial dans son comportement et dans la transmission des signaux qu'elle transporte. Elle est exprimée en unités de longueur, généralement en mètres (m) ou en centimètres (cm).

➤ Impact de la longueur sur la propagation des signaux

La longueur de la ligne de transmission affecte la propagation des signaux de plusieurs manières:

- **Temps de retard:** Le signal prend un certain temps pour se propager le long de la ligne, ce qui introduit un **délai temporel** entre l'envoi du signal à la source et sa réception à la charge. Ce délai est proportionnel à la longueur de la ligne et à la vitesse de propagation des ondes dans la ligne.

- **Atténuation:** Le signal s'affaiblit au fur et à mesure qu'il se propage le long de la ligne due à des phénomènes tels que la résistance des conducteurs et les pertes diélectriques du

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

matériau isolant. L'atténuation est généralement exprimée en unités de décibels par mètre (dB/m) et augmente avec la longueur de la ligne et la fréquence du signal.

- **Impédance:** La longueur de la ligne peut affecter son **impédance d'entrée** vue depuis la source. Pour les lignes courtes, l'effet de la longueur sur l'impédance est généralement négligeable. Cependant, pour les lignes plus longues, l'impédance d'entrée peut différer significativement de l'impédance caractéristique de la ligne.

➤ Formules de longueur de ligne de transmission:

Dans certains cas, il peut être nécessaire de calculer la longueur d'une ligne de transmission pour analyser son comportement ou concevoir un système de transmission. La longueur de la ligne peut être déterminée en utilisant différentes approches, en fonction de la géométrie et des propriétés de la ligne.

- **Lignes bipolaires:** Pour les lignes bipolaires, composées de deux conducteurs parallèles, la longueur peut être calculée en utilisant la formule suivante:

$$L = \sqrt{LC}$$

où:

- L est la longueur de la ligne (en mètres)
- C est la capacité par unité de longueur (en farads par mètre)
- L est l'inductance par unité de longueur (en henrys par mètre)

- **Guides d'ondes:** Pour les guides d'ondes, tels que les guides d'ondes rectangulaires ou circulaires, la longueur peut être calculée en utilisant des formules plus complexes qui prennent en compte la géométrie et les propriétés des matériaux du guide d'ondes.

➤ Considérations pratiques:

En pratique, la longueur exacte d'une ligne de transmission peut être difficile à déterminer en raison de facteurs tels que les tolérances de fabrication et les connexions aux extrémités de la ligne. De plus, la longueur effective de la ligne peut différer de sa longueur physique en raison de l'effet de peau et d'autres phénomènes haute fréquence.

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

La longueur d'une ligne de transmission est un paramètre important qui affecte son comportement et la transmission des signaux. La compréhension de l'impact de la longueur est essentielle pour la conception et l'analyse de systèmes de communication et d'autres applications à haute fréquence.

II.4.3 Écart entre les résistances

L'écart entre les résistances peut faire référence à deux concepts distincts:

- **Tolérance des résistances:**

La tolérance d'une résistance est une indication de la variation acceptable de sa valeur nominale. Elle est généralement exprimée en pourcentage (%) et représente la plage de valeurs dans laquelle la résistance réelle peut se situer. Par exemple, une résistance de 10 k Ω avec une tolérance de 5% peut avoir une valeur réelle comprise entre 9,5 k Ω et 10,5 k Ω .

La tolérance des résistances est un facteur important à prendre en compte lors de la sélection des composants pour un circuit électronique. Une tolérance plus serrée (par exemple, 1% ou 0,1%) garantit une plus grande précision de la valeur de la résistance, mais elle est également plus coûteuse. En revanche, une tolérance plus large (par exemple, 5% ou 10%) est moins coûteuse mais peut entraîner une moins grande précision du circuit.

- **Différence de valeur entre deux résistances**

Dans certains cas, on peut s'intéresser à la différence de valeur entre deux résistances spécifiques. Cette différence peut être calculée simplement en soustrayant la valeur de la plus petite résistance de la valeur de la plus grande résistance. Par exemple, si l'on a deux résistances de 10 k Ω et 12 k Ω , la différence de valeur est de 2 k Ω .

La différence de valeur entre deux résistances peut être importante pour déterminer le comportement d'un circuit électronique. Par exemple, dans un circuit diviseur de tension, la tension de sortie dépend du rapport entre les valeurs des résistances. Une plus grande différence de valeur entre les résistances entraîne une tension de sortie plus importante.

➤ **Formule de calcul de l'écart:**

La formule pour calculer l'écart entre deux résistances R1 et R2 est la suivante:

$$\text{Écart} = |R1 - R2|$$

Où:

- Écart est la différence de valeur absolue entre R1 et R2
- R1 est la valeur de la première résistance
- R2 est la valeur de la deuxième résistance

Exemple:

Soient $R1 = 15 \text{ k}\Omega$ et $R2 = 22 \text{ k}\Omega$. Calculons l'écart entre ces deux résistances:

$$\text{Écart} = |15 \text{ k}\Omega - 22 \text{ k}\Omega| = 7 \text{ k}\Omega$$

Par conséquent, l'écart entre les résistances R1 et R2 est de $7 \text{ k}\Omega$.

Le concept d'écart entre les résistances est important dans deux contextes principaux: la tolérance des résistances, qui indique la variation acceptable de la valeur nominale d'une résistance, et la différence de valeur entre deux résistances spécifiques, qui peut influencer le comportement d'un circuit électronique. La compréhension de ces concepts est essentielle pour la sélection des composants et l'analyse des circuits électriques.

II.4.4 Largeur de la ligne de transmission

La largeur d'une ligne de transmission, généralement notée W , est une dimension physique importante qui affecte ses caractéristiques électriques et son comportement en termes de propagation des ondes. Elle est généralement exprimée en unités de longueur, telles que les millimètres (mm) ou les centimètres (cm).

➤ Impact de la largeur sur la ligne de transmission:

La largeur de la ligne de transmission a un impact significatif sur plusieurs aspects de son fonctionnement:

- **Impédance caractéristique:** La largeur influence l'impédance caractéristique (Z_0) de la ligne, qui est une propriété fondamentale déterminant la relation entre la tension et le courant le long de la ligne. Une augmentation de la largeur entraîne généralement une diminution de Z_0 .

- **Mode de propagation des ondes:** La largeur de la ligne peut influencer le mode de propagation des ondes électromagnétiques le long de la ligne. Pour les lignes plus larges, des modes de propagation supplémentaires peuvent apparaître, ce qui peut affecter la distribution du champ et les caractéristiques de transmission.
- **Capacité:** La largeur affecte la capacité par unité de longueur (C) de la ligne, qui détermine la quantité d'énergie électrique stockée dans le champ électrique de la ligne. Une augmentation de la largeur entraîne généralement une augmentation de C.
- **Inductance:** La largeur influence également l'inductance par unité de longueur (L) de la ligne, qui détermine la quantité d'énergie magnétique stockée dans le champ magnétique de la ligne. Une augmentation de la largeur entraîne généralement une diminution de L.

II.4.5 Considérations pour les différentes géométries

L'effet de la largeur sur la ligne de transmission dépend de sa géométrie spécifique.

- **Lignes bipolaires:** Pour les lignes bipolaires composées de deux conducteurs parallèles, la largeur fait référence à la distance entre les bords intérieurs des conducteurs. Une largeur plus importante augmente l'espacement entre les conducteurs, réduisant l'impédance caractéristique et augmentant la capacité.
- **Câbles coaxiaux:** Dans les câbles coaxiaux, la largeur est définie par le rayon du conducteur interne. Une augmentation du rayon augmente l'impédance caractéristique et diminue la capacité.
- **Guides d'ondes:** Pour les guides d'ondes, tels que les guides d'ondes rectangulaires ou circulaires, la largeur peut se référer à une dimension transversale spécifique, comme la largeur ou la hauteur du guide. La largeur affecte l'impédance caractéristique, les modes de propagation et les autres caractéristiques du guide d'ondes.

Conception de lignes de transmission

Le choix de la largeur appropriée pour une ligne de transmission est crucial pour répondre aux exigences d'une application particulière. Les facteurs à prendre en compte incluent l'impédance caractéristique requise, le mode de propagation souhaité, la bande passante de fréquence et les contraintes physiques.

La largeur d'une ligne de transmission est un paramètre important qui affecte son comportement électrique et ses caractéristiques de propagation d'ondes. La compréhension de

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

L'impact de la largeur est essentielle pour la conception et l'analyse de lignes de transmission dans divers domaines, tels que les communications haute fréquence, les circuits à micro-ondes et les systèmes radar.

II.5 Paramètres électriques

II.5.1 L'impédance caractéristique

L'impédance caractéristique du diviseur doit être égale à l'impédance caractéristique des lignes de transmission d'entrée et de sortie pour garantir un transfert de puissance maximal.

L'impédance caractéristique (Z_0) est un paramètre électrique crucial d'un diviseur de puissance Wilkinson, car elle influence directement ses performances en termes de perte d'insertion, d'isolation et de retour de VSWR. Elle doit être égale à l'impédance caractéristique des lignes de transmission d'entrée et de sortie pour garantir un transfert de puissance maximal et un fonctionnement optimal du diviseur.

➤ Rôle de l'impédance caractéristique

- **Adaptation d'impédance:** L'impédance caractéristique assure une adaptation d'impédance entre le port d'entrée et les ports de sortie, minimisant ainsi les réflexions d'ondes et les pertes de puissance. Si Z_0 n'est pas correctement choisie, des ondes stationnaires se forment, entraînant une distorsion du signal et une dégradation des performances.
- **Division de puissance:** La valeur de Z_0 détermine la façon dont la puissance d'entrée est divisée entre les ports de sortie. Dans un diviseur Wilkinson idéalement adapté, la puissance est répartie uniformément entre les sorties, avec un rapport de division de puissance de 3 dB (ou 1/2 de la puissance d'entrée vers chaque sortie).
- **Isolation entre les ports:** L'impédance caractéristique joue un rôle important dans l'isolation entre les ports de sortie. Une valeur d'impédance correctement choisie minimise le couplage entre les sorties, empêchant les signaux de se propager d'une sortie à l'autre. Cela est crucial pour garantir l'indépendance des signaux de sortie et éviter les interférences.

➤ Choix de l'impédance caractéristique:

Le choix de l'impédance caractéristique dépend de plusieurs facteurs, notamment:

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

- **Impédance des lignes de transmission:** Z_0 doit être égale à l'impédance caractéristique des lignes de transmission d'entrée et de sortie. Les valeurs standard d'impédance de ligne courantes sont 50, 75 et 100 ohms.
- **Rapport de division de puissance:** Z_0 influence le rapport de division de puissance. Un diviseur Wilkinson 3 dB standard utilise une impédance caractéristique spécifique pour obtenir une division de puissance égale entre les sorties.
- **Bande passante:** Le choix de Z_0 peut affecter la bande passante du diviseur. Une impédance caractéristique plus élevée peut élargir la bande passante, mais peut également augmenter la taille du diviseur.

L'impédance caractéristique est un paramètre électrique essentiel d'un diviseur de puissance Wilkinson. Une sélection appropriée de Z_0 garantit une adaptation d'impédance optimale, une division de puissance uniforme, une isolation adéquate entre les ports et une performance globale optimale du diviseur. Le choix de Z_0 doit tenir compte de l'impédance des lignes de transmission, du rapport de division de puissance souhaité et des exigences de bande passante.

II.5.2 Le rapport de division de puissance

Le rapport de division de puissance détermine la fraction de puissance divisée vers chaque port de sortie. Le rapport de division de puissance est généralement exprimé en dB.

La fréquence de fonctionnement: La fréquence de fonctionnement du diviseur est la fréquence à laquelle ses performances sont optimales. La bande passante du diviseur détermine la plage de fréquences sur laquelle il peut fonctionner de manière acceptable.

Le rapport de division de puissance

Le rapport de division de puissance est une expression mathématique qui décrit la relation entre deux puissances de la même base. Il est défini comme le quotient de deux puissances ayant la même base, élevé à la différence de leurs exposants.

En d'autres termes, si on a:

- a^m et a^n où a est la base et m et n sont des exposants entiers,

le rapport de division de puissance est donné par:

- $\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

➤ Propriétés du rapport de division de puissance:

- Le rapport de division de puissance conserve la base: La base des deux puissances au quotient reste la même.
- La différence des exposants devient le nouvel exposant: L'exposant du résultat est la différence des exposants des puissances au départ.
- Simplification possible: Si les exposants m et n sont des entiers négatifs, il est possible de simplifier l'expression en utilisant la propriété des puissances à exposants négatifs.

Exemples:

$$\frac{5^3}{5^2} = 5^{3-2} = 5^1 = 5$$

$$\frac{2^{-4}}{2^{-1}} = 2^{-4-(-1)} = 2^{-3} = \frac{1}{8}$$

➤ Applications du rapport de division de puissance:

- Le rapport de division de puissance est utilisé dans divers domaines mathématiques, tels que l'algèbre, la trigonométrie et le calcul.
- Il est également utilisé dans des applications pratiques, telles que l'électronique, l'ingénierie et la physique.

En résumé, le rapport de division de puissance est un outil mathématique utile pour comparer et simplifier les expressions impliquant des puissances de la même base.

II.5.3 La fréquence de fonctionnement d'un diviseur de puissance Wilkinson

La fréquence de fonctionnement d'un diviseur de puissance Wilkinson dépend de plusieurs facteurs, dont :

- **La conception du circuit:** La longueur des lignes de transmission est un élément clé de la conception d'un diviseur de puissance Wilkinson. Généralement, plus la fréquence est élevée, plus les lignes de transmission doivent être courtes. Cela limite la plage de fréquences utilisable d'un diviseur Wilkinson donné.

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

- **L'impédance caractéristique:** Le diviseur de puissance Wilkinson doit être conçu pour fonctionner avec une impédance caractéristique spécifique, généralement 50 ohms. Si l'impédance du système est différente, des pertes d'insertion supplémentaires se produiront.
- **La puissance d'entrée:** La puissance d'entrée maximale d'un diviseur de puissance Wilkinson est limitée par les capacités de ses composants. Si la puissance d'entrée est trop élevée, les composants peuvent surchauffer et tomber en panne.

En général, les diviseurs de puissance Wilkinson peuvent fonctionner dans une large plage de fréquences, allant de quelques centaines de mégahertz à plusieurs dizaines de gigahertz. La plage de fréquences spécifique d'un diviseur donné sera indiquée dans sa fiche technique.

Voici quelques exemples de plages de fréquences pour les diviseurs de puissance Wilkinson :

- **Diviseur de puissance à 2 voies 50 ohms:** 0,5 - 18 GHz
- **Diviseur de puissance à 3 voies 50 ohms:** 3,1 - 5 GHz
- **Diviseur de puissance large bande:** 1 - 18 GHz

Il est important de choisir un diviseur de puissance Wilkinson qui a une plage de fréquences qui couvre l'application prévue.

1. Méthodes analytiques:

- **Analyse des modes:** Cette méthode consiste à déterminer les modes de propagation d'onde dans le circuit du diviseur de puissance. En résolvant les équations de Maxwell pour les structures géométriques du diviseur, on peut obtenir les paramètres S et d'autres caractéristiques de performance, telles que la perte d'insertion et l'isolement.

Avantages:

- Offre une compréhension fondamentale du fonctionnement du diviseur.
- Permet un calcul rapide des paramètres S pour des structures simples.

Inconvénients:

- Peut être complexe pour des structures géométriques complexes.
- Ne prend pas toujours en compte les effets parasites.

II.6 Méthodes numériques

II.6.1 Simulation par éléments finis (FEM)

Cette méthode utilise une approche numérique pour résoudre les équations de Maxwell sur une grille discrétisée du circuit du diviseur de puissance. Elle permet d'analyser des structures géométriques complexes et de prendre en compte les effets parasites.

➤ **Avantages:**

- Grande flexibilité pour analyser des structures géométriques complexes.
- Prend en compte les effets parasites.

➤ **Inconvénients:**

- Peut être gourmand en temps de calcul.
- Exige une certaine expertise dans l'utilisation des outils de simulation FEM.

II.6.2 Méthodes hybrides

➤ **Combinaison de méthodes analytiques et numériques:** Cette approche combine les avantages des deux méthodes précédentes. Les méthodes analytiques peuvent être utilisées pour obtenir une solution initiale rapide, tandis que les méthodes numériques peuvent être utilisées pour affiner la solution et prendre en compte les effets complexes.

➤ **Avantages:**

- Bénéficie des avantages des deux méthodes précédentes.
- Permet d'obtenir des résultats précis et efficaces.

➤ **Inconvénients:**

- Peut nécessiter une expertise dans les deux types de méthodes.
- La mise en œuvre peut être plus complexe.

II.6.3 Choix de la méthode

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

Le choix de la méthode d'étude paramétrique la plus appropriée pour un diviseur de puissance Wilkinson dépend de plusieurs facteurs, tels que la complexité de la structure géométrique, la précision requise, les ressources disponibles et l'expertise de l'utilisateur.

II.6.4 Outils d'étude paramétrique

Plusieurs outils logiciels sont disponibles pour faciliter l'étude paramétrique des diviseurs de puissance Wilkinson. Ces outils incluent des simulateurs électromagnétiques basés sur la FEM, des outils de conception de circuits et des scripts MATLAB personnalisés.

En choisissant la méthode et les outils appropriés, les ingénieurs peuvent mener une étude paramétrique complète de leur diviseur de puissance Wilkinson et optimiser ses performances pour répondre aux exigences spécifiques de leur application.

II.7 Application de l'étude paramétrique d'un diviseur de puissance Wilkinson

L'étude paramétrique d'un diviseur de puissance Wilkinson joue un rôle crucial dans son optimisation et sa conception pour répondre à des exigences spécifiques. En analysant l'influence des paramètres géométriques et électriques sur les performances du diviseur, les ingénieurs peuvent affiner sa conception et obtenir un dispositif répondant aux besoins précis de l'application.

➤ Voici quelques exemples concrets de l'application de l'étude paramétrique :

- **Optimisation de la bande passante:**

L'optimisation de la bande passante est devenue cruciale pour les particuliers et les entreprises afin de profiter d'une expérience internet fluide et performante.

Pourquoi optimiser la bande passante ?

- **Améliorer la vitesse de connexion :** En réduisant la congestion et en priorisant les applications critiques, vous pouvez booster votre vitesse de téléchargement, de streaming et de navigation web.

- **Réduire la latence :** Une latence plus faible se traduit par des temps de réponse plus courts, ce qui est crucial pour les jeux en ligne, les appels vidéo et les applications en temps réel.

Chapitre II : Base de conception d'un diviseur de puissance de Wilkinson

- **Maximiser les ressources :** Une utilisation efficace de la bande passante garantit que chaque appareil et chaque application reçoit une part adéquate des ressources disponibles, empêchant la saturation et les ralentissements.

- **Réduire les coûts :** En optimisant votre utilisation de la bande passante, vous pouvez éviter les dépassements de forfait et les frais supplémentaires.

➤ **Comment optimiser la bande passante ?**

- **Identifier les goulots d'étranglement :**

Commencez par analyser votre utilisation actuelle de la bande passante pour identifier les applications ou les appareils qui consomment le plus de ressources. Vous pouvez utiliser des outils de surveillance réseau intégrés ou des logiciels spécialisés pour suivre l'activité en ligne.

- **Prioriser les applications critiques :**

Définissez les applications qui nécessitent une bande passante prioritaire, telles que les visioconférences professionnelles ou les jeux en ligne. Configurez votre routeur ou votre modem pour accorder la priorité à ces applications en termes d'accès à la bande passante.

- **Limiter le streaming et les téléchargements :**

Les activités gourmandes en bande passante, comme le streaming vidéo haute définition ou les téléchargements de fichiers volumineux, peuvent monopoliser la bande passante et ralentir d'autres applications. Planifiez ces activités en dehors des heures de pointe ou utilisez des services de streaming de qualité inférieure si nécessaire.

II.7 Conclusion

Dans le deuxième chapitre, nous avons effectué une étude analytique de diviseur de puissance le plus utilisés dans le domaine RF et microondes tels que le diviseur de Wilkinson (classique et amélioré). L'étude analytique était faite en deux modes pair et impair de diviseur (WPD). Dans le même chapitre, Analyse d'un diviseur Wilkinson.

Chapitre III

La conception d'un diviseur de puissance

Wilkinson En bande ka

Introduction

Le domaine de la communication sans fil a connu des changements révolutionnaires au cours de la dernière décennie avec l'évolution de la communication cellulaire 2G, 3G, Bluetooth, WLAN, etc. L'industrie actuelle de la communication sans fil a connu un grand développement qui a conduit à l'utilisation des composants RF (radio fréquence) dans plusieurs bandes de fréquences. Beaucoup de circuits bi-bande tels que les diviseurs de puissance, des antennes, des filtres RF, des coupleurs [12] ont été développés. Les diviseurs de puissance constituent l'un des principaux circuits passifs les plus utilisés principalement dans l'industrie des micro-ondes et de la technologie mobile.

Dans ce dernier chapitre, On va voir la conception d'un diviseur de Wilkinson à deux ports de sortie en utilisant un simulateur de logiciel ADS avec un bande passante 18 GHZ jusqu'à 20 GHZ.

III.1 L'optimisation dans le simulateur ADS

➤ Définition de l'optimisation

L'optimisation est le processus qui consiste à minimiser ou à maximiser une fonction objective. Dans le cas d'un diviseur de puissance, l'optimisation sous ADS consiste à varier un ou plusieurs paramètres du diviseur afin de remplir un objectif tel que la fréquence opérationnelle souhaitée, le coefficient de réflexion S_{11} doit être sous -15 dB dans une bande de fréquence précise. Parmi ces méthodes d'optimisation, on peut citer les méthodes stochastiques telles que les algorithmes génétiques, l'essaim particulier (PSO) et des autres analytiques telles que la méthode de Newton [13].

➤ Fonctionnement de l'optimisation dans ADS

- ❖ **Définition des objectifs et des contraintes:** L'utilisateur commence par définir les objectifs de conception qu'il souhaite atteindre. Cela peut impliquer la spécification de paramètres tels que la bande passante, le gain, le bruit ou l'efficacité. L'utilisateur peut également définir des contraintes, telles que la plage de valeurs autorisées pour les composants du circuit.
- ❖ **Sélection d'un algorithme d'optimisation:** ADS propose plusieurs algorithmes d'optimisation différents, chacun ayant ses propres avantages et ses propres inconvénients. Le choix de l'algorithme approprié dépend des objectifs de conception et de la complexité du circuit.

- ❖ **Exécution de l'optimisation:** Une fois les objectifs, les contraintes et l'algorithme d'optimisation définis, l'utilisateur peut lancer le processus d'optimisation. ADS explorera l'espace des paramètres possibles et ajustera automatiquement les valeurs des composants du circuit afin d'atteindre les objectifs définis.
- ❖ **Analyse des résultats:** Une fois l'optimisation terminée, ADS présente les résultats à l'utilisateur. Cela inclut les valeurs finales des composants du circuit, ainsi que les performances prédites du circuit optimisé. L'utilisateur peut ensuite analyser les résultats et déterminer si l'optimisation a été couronnée de succès.

➤ **Avantages de l'optimisation dans ADS**

L'optimisation dans ADS présente plusieurs avantages, notamment:

- **Amélioration des performances du circuit:** L'optimisation peut permettre d'améliorer considérablement les performances d'un circuit en atteignant des objectifs de conception spécifiques.
- **Gain de temps:** L'optimisation peut automatiser le processus de recherche des valeurs optimales des composants du circuit, ce qui peut faire gagner du temps aux concepteurs.
- **Exploration de nouvelles solutions:** L'optimisation peut permettre d'explorer des solutions de conception qui n'auraient pas été envisagées autrement.

➤ **Exemple d'utilisation de l'optimisation dans ADS**

L'optimisation peut être utilisée dans une large gamme d'applications de conception de circuits. Un exemple courant consiste à optimiser un filtre passe-haut pour obtenir une bande passante maximale et une atténuation minimale dans la bande de rejet. L'optimisation peut également être utilisée pour concevoir des amplificateurs avec un gain maximal, un bruit minimal ou une consommation d'énergie minimale.

III.2 Algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques (GA) sont inspirés du concept de sélection naturelle élaboré par Charles Darwin. Son principe est de simuler l'évolution d'une population d'individus, à laquelle on applique, itérativement, différents opérateurs génétiques (sélection, croisement et

mutation). Si la sélection s'opère à partir d'une fonction de cout, alors la population tend à s'améliorer.

➤ **Fonctionnement**

Les AG fonctionnent en simulant l'évolution d'une population d'individus. Chaque individu représente une solution potentielle au problème à résoudre. Les individus sont caractérisés par un ensemble de paramètres, appelés gènes, qui codent leur structure ou leur comportement.

L'évolution de la population se déroule sur plusieurs générations. A chaque génération, les individus les plus performants, c'est-à-dire ceux qui ont la meilleure valeur de la fonction objectif, sont sélectionnés pour se reproduire. La reproduction se fait par croisement, c'est-à-dire en combinant les gènes des parents pour créer de nouveaux individus. Les nouveaux individus peuvent également subir des mutations, c'est-à-dire des modifications aléatoires de leurs gènes.

Au fil des générations, la population s'enrichit en individus performants et les solutions tendent à s'améliorer. L'algorithme s'arrête lorsqu'un critère de convergence est atteint, par exemple lorsque la valeur de la fonction objectif ne s'améliore plus ou qu'un nombre maximal de générations est atteint.

➤ **Avantages des algorithmes génétiques**

Les AG présentent plusieurs avantages par rapport aux méthodes d'optimisation classiques:

- **Robustesse:** Ils sont peu sensibles au bruit et aux données manquantes.
- **Capacité d'exploration:** Ils sont capables d'explorer un large espace de solutions, même si celui-ci est discontinu ou non convexe.
- **Parallélisation:** Ils peuvent être facilement parallélisés, ce qui permet de réduire le temps de calcul.

➤ **Applications des algorithmes génétiques**

Les AG sont utilisés dans une large variété de domaines, notamment:

- **Optimisation de problèmes complexes:** problèmes de planification, de routage, de conception, etc.

- **Apprentissage automatique:** sélection de caractéristiques, optimisation de modèles, etc.
- **Robotique:** contrôle de robots, apprentissage par renforcement, etc.
- **Finance:** optimisation de portefeuilles, détection de fraude, etc.

➤ Limitations des algorithmes génétiques

Les AG ne sont pas exempts de limitations:

- **Temps de calcul:** Ils peuvent être gourmands en temps de calcul, surtout pour des problèmes complexes.
- **Paramétrage:** Le choix des paramètres de l'algorithme peut être délicat et influencer sa performance.
- **Convergence:** Il n'est pas toujours garanti que l'algorithme converge vers une solution optimale.

Les algorithmes génétiques sont un outil puissant pour la résolution de problèmes complexes. Ils sont robustes, adaptables et peuvent être appliqués à une large variété de domaines. Cependant, il est important de bien comprendre leurs limitations et de les utiliser avec précaution.

Les algorithmes génétiques (GA) présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes d'optimisation classique [14].

- Elle optimise les variables réelles et binaires.
- Elle ne nécessite pas le calcul des dérivées d'une fonction de cout (semi aléatoire).
- Capable d'obtenir un minimum global sans rester piégée dans un minimum local.
- Elle peut aboutir à une liste de solutions. L'inconvénient majeur réside dans le temps de convergence qui est très lent.

➤ Géométrie du diviseur proposé

Le diviseur de puissance proposé à une structure d'un port d'entrée et deux ports de sortie. Le schéma de ce diviseur est présenté dans la figure suivante

La géométrie du diviseur proposé est un aspect important à prendre en compte lors de la conception d'un algorithme génétique. En effet, la structure du diviseur peut influencer la performance de l'algorithme, notamment en termes de convergence et de qualité des solutions obtenues.

➤ Aspects géométriques à considérer

- **Forme du diviseur:** Le diviseur peut être linéaire, circulaire, hiérarchique, etc. La forme du diviseur peut influencer la manière dont les individus sont explorés et les types de solutions qui peuvent être trouvés.
- **Dimensionnalité du diviseur:** Le diviseur peut être monodimensionnel, bidimensionnel ou multidimensionnel. La dimensionnalité du diviseur peut influencer la complexité de l'algorithme et la difficulté de trouver des solutions optimales.
- **Structure du diviseur:** Le diviseur peut être continu, discret ou mixte. La structure du diviseur peut influencer la manière dont les mutations et les croisements sont effectués.

➤ Impact de la géométrie sur l'algorithme

- **Convergence:** La géométrie du diviseur peut influencer la vitesse de convergence de l'algorithme. Un diviseur bien conçu peut permettre à l'algorithme de converger plus rapidement vers une solution optimale.
- **Qualité des solutions:** La géométrie du diviseur peut influencer la qualité des solutions obtenues par l'algorithme. Un diviseur bien conçu peut permettre à l'algorithme de trouver des solutions de meilleure qualité.
- **Robustesse:** La géométrie du diviseur peut influencer la robustesse de l'algorithme vis-à-vis du bruit et des données manquantes. Un diviseur bien conçu peut permettre à l'algorithme de fonctionner plus efficacement dans des environnements bruyants ou incertains.

➤ Outils pour analyser la géométrie du diviseur

Il existe plusieurs outils pour analyser la géométrie d'un diviseur, notamment:

- **Visualisation:** La visualisation du diviseur peut aider à comprendre sa structure et à identifier d'éventuels problèmes.
- **Mesures géométriques:** Il existe différentes mesures géométriques qui peuvent être utilisées pour quantifier la complexité du diviseur.
- **Analyse de sensibilité:** L'analyse de sensibilité permet d'évaluer l'impact de la géométrie du diviseur sur la performance de l'algorithme.

La géométrie du diviseur est un facteur important à prendre en compte lors de la conception d'un algorithme génétique. En analysant et en optimisant la géométrie du diviseur, il est possible d'améliorer la performance de l'algorithme en termes de convergence, de qualité des solutions et de robustesse.

III.2 Calcul de l'impédance de la ligne d'alimentation

Le choix de la ligne d'alimentation repose sur la nécessité d'une impédance caractéristique d'environ 50Ω . Parmi les différents types de lignes de transmission couramment utilisées pour alimenter le diviseur de puissance imprimés, nous avons opté pour les lignes micro-rubans. Le type de substrat sélectionné influence directement l'impédance caractéristique de la ligne de transmission, notamment en termes de permittivité relative et d'épaisseur. Cette sélection permet de garantir une bonne adaptation de l'impédance d'entrée. De plus, il est possible de calculer cette impédance en utilisant l'outil de simulation **LineCalc** pour calculer les paramètres des lignes d'alimentations du diviseur à réaliser. La **Figure III.1** montre la fenêtre **LineCalc**.

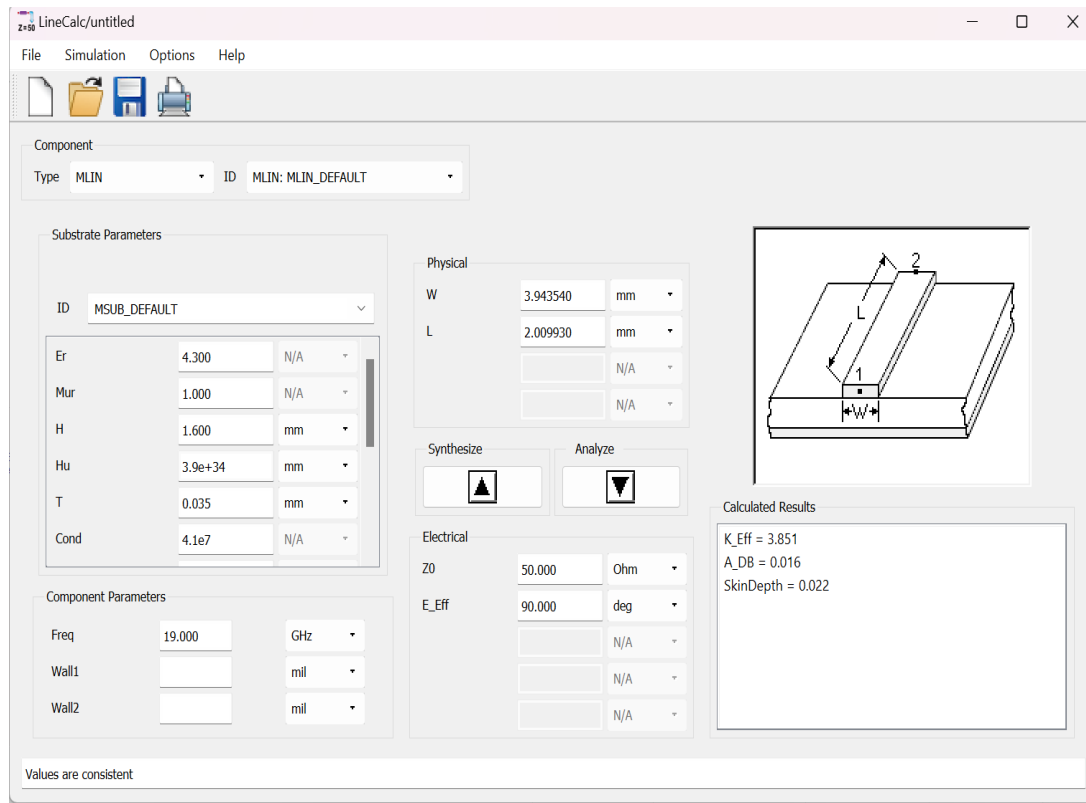


Fig. III.1 : Fenêtre LineCalc utiliser pour le calcul de l'impédance de la ligne d'alimentation dans logiciel ADS

III.3 Simulation avec ADS

ADS (Advanced Design System) est une suite logicielle développée par Keysight Technologies. Il est largement utilisé pour la conception et la simulation de circuits numériques RF, micro-ondes et haute vitesse. L'ADS est particulièrement populaire dans les domaines des communications, de l'aérospatiale, de la défense et des semi-conducteurs.

Voici un tutoriel rapide sur la façon dont vous utilisez le logiciel ADS ; cliquez sur ADS, cela apparaîtra, choisi ADS Design Environnement, puis clique OK

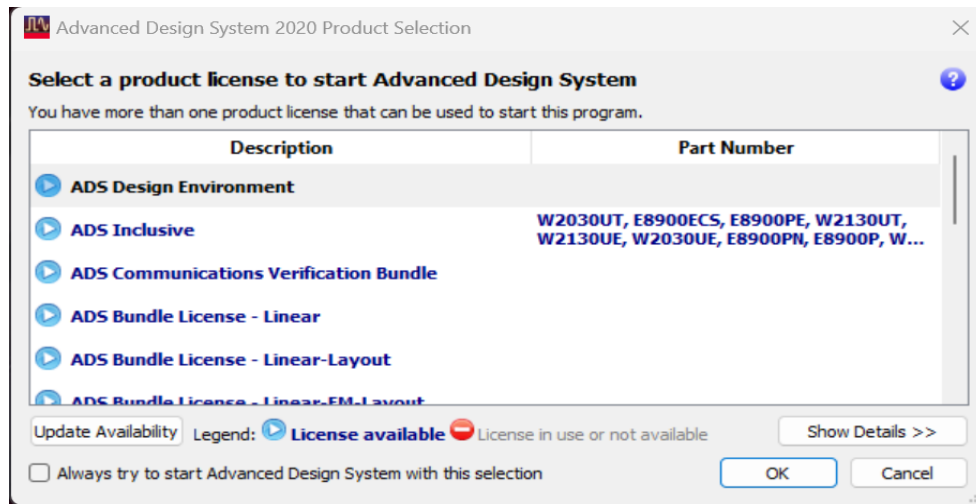


Fig. III.2. Advanced design system product selection

Après une clique sur l'icône ADS Design Environnement, l'écran de la **Figure III.3.** S'apparaîtra

Cet écran nous permet de créer et de nommer les projets sur lesquels nous voulions travailler. Nous pouvons créer plus de cellules de simulation dans une seule fenêtre. Comme le montre la **Figure III.3.** Ci-dessous

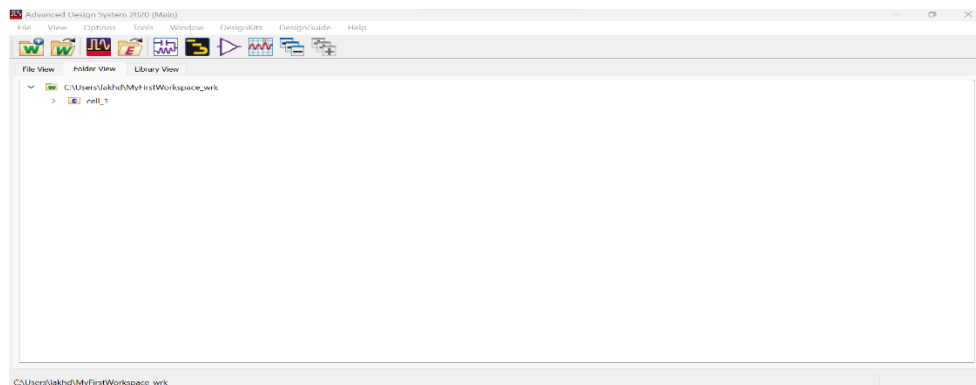


Fig. III.3. Création nouveau projet

Dans la fenêtre du projet ouvert dans ADS, nous pouvons créer de nouveaux projets. Les projets sont enregistrés sous forme de dossier à l'emplacement désigné. Chaque projet pourrait être composé de plusieurs cellules, chaque cellule comporte un schéma ou un tracé du circuit imprimé. Les conceptions pourraient être simulées individuellement ou ensemble en tant que système.

Click sur new schematic window, pour créer un nouveau projet comme le montre la **Figure III.4.**

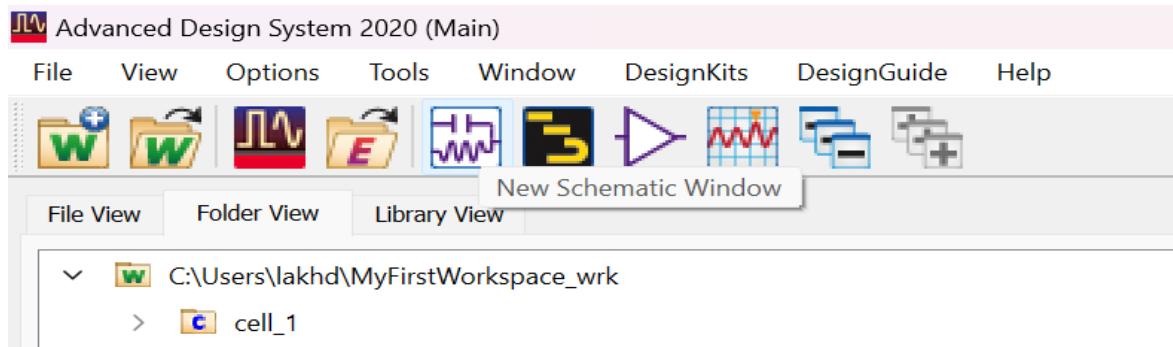


Fig. III.4.Création d'un nouveau schéma en ADS

Puis on nomme la cellule de notre projet comme le montre la **Figure III.5.**

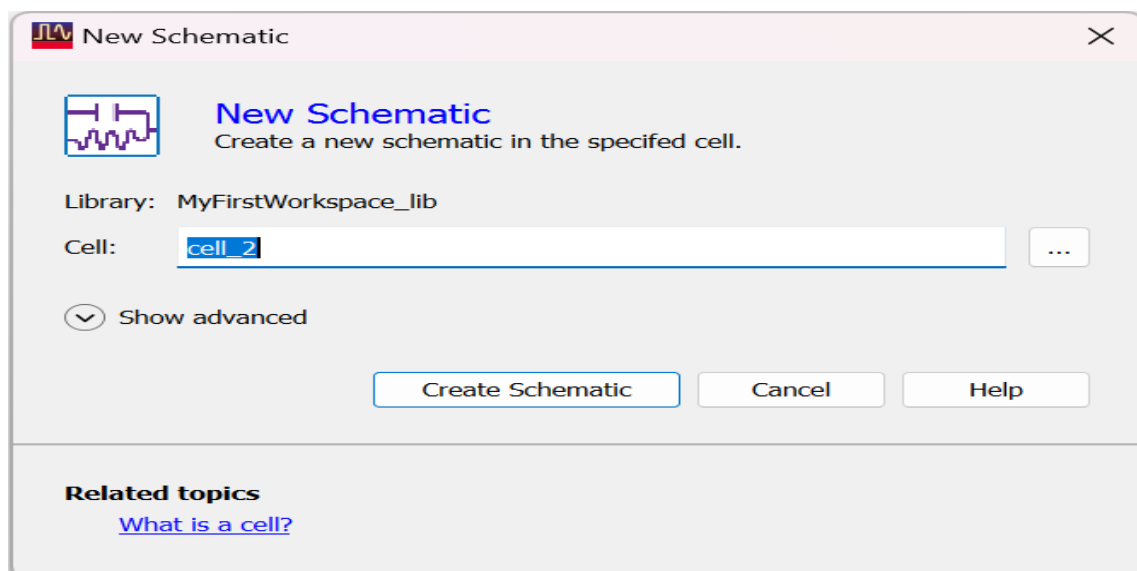


Fig. III.5. Nomination d'une cellule en ADS

Chapitre III : Conception du diviseur de puissance Wilkinson En bande ka

Une nouvelle fenêtre de conception ou de design s'ouvre comme le montre la **Figure III.6**.

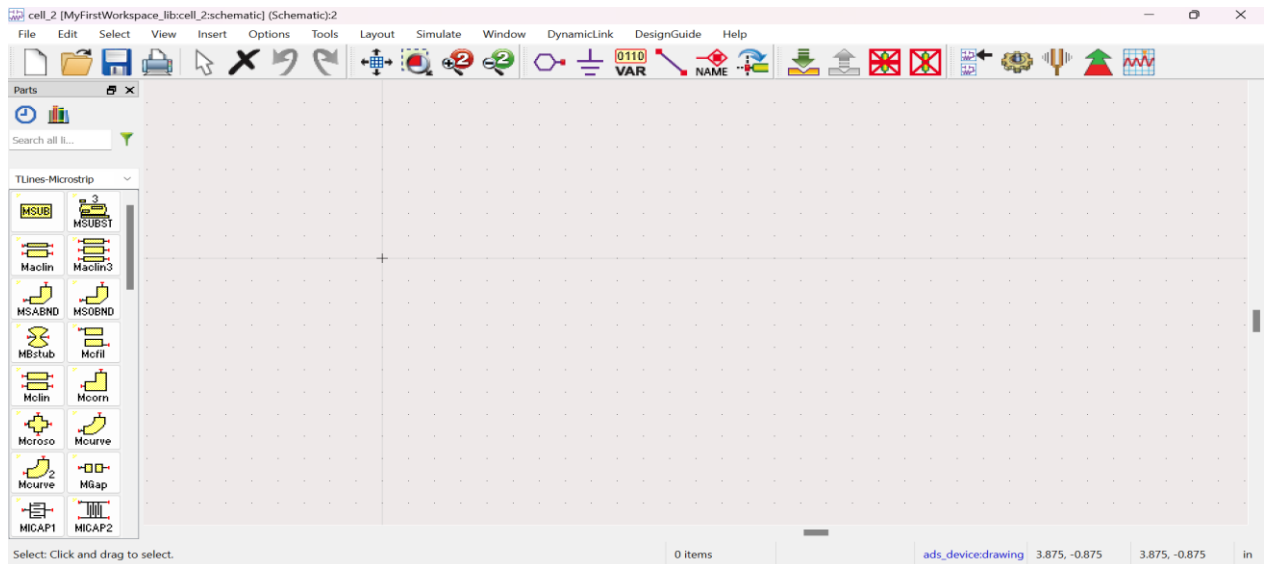


Fig. III.6. Fenêtre de conception ou de design

Le schéma proposé de diviseur de puissance Wilkinson a deux ports

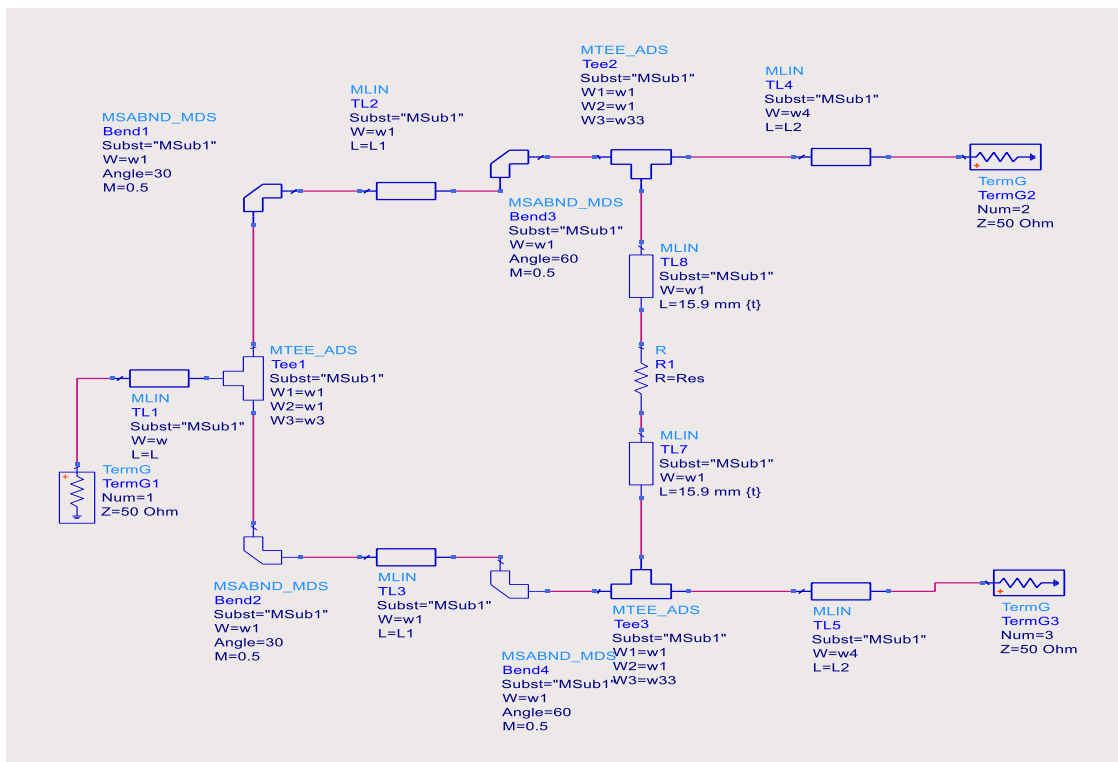


Figure III.7 : Le schéma proposé du diviseur Ka-bonde à deux ports en utilisant ADS.

Le circuit imprimé du schéma illustré dans Figure II.7 est montré dans la figure au-dessous.

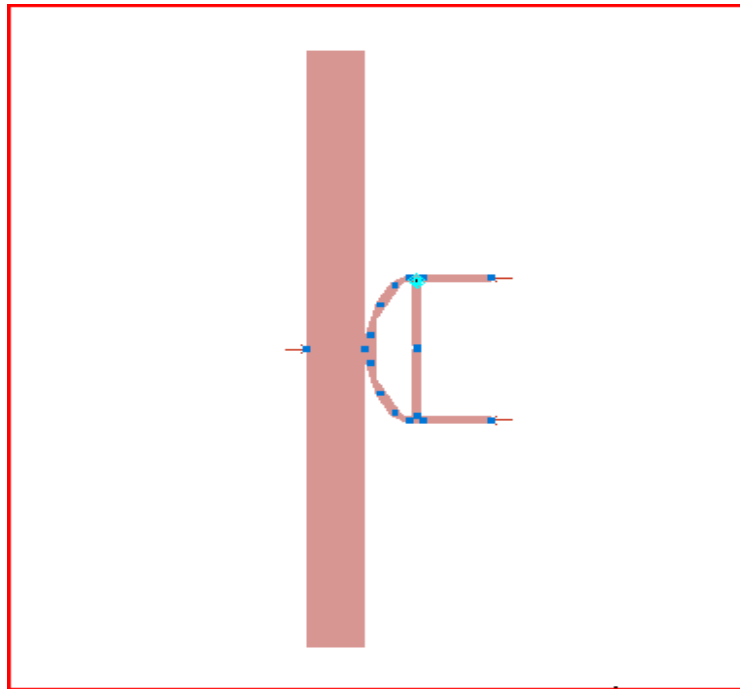


Figure III.8 : Le circuit imprimé du schéma créé en Figure III.1 par ADS

III.4 Résultat

Avant de lancer le processus d'optimisation, les différents objectifs doivent être définis, comme la Figure III. 9 montres.

```
Var  
Eqn  
VAR  
VAR1  
w=142.145 mm {t} {o}  
Res=100 Ohm {t} {o}  
w3=6.42 mm {t} {o}  
w11=4.705 mm {t} {o}  
w22=1.28 mm {t} {o}  
w33=2.745 mm {t} {o}  
an=109 {t} {o}  
L=11.22 mm {t} {o}  
L1=5.515 mm {t} {o}  
L2=12.825 mm {t} {o}  
w2=1.6 mm {t} {o}  
w1=2.1 mm {t} {o}  
w4=1.865 mm {t} {o}  
R=2 mm {t} {o}
```

Figure III.9 : Définition des objectifs sur ADS.

Chapitre III : Conception du diviseur de puissance Wilkinson En bande ka

Le nombre des itérations maximales est fixé par 50. Pour les objectifs (goals), on a choisi deux objectifs le premier concernant S11 alors que le deuxième concernant le coefficient S12.

- **Le premier objectif** : S11 doit être inférieur ou égal à -15dB dans la bande de fréquence suivante : [19 GHz-20GHz]
- **Le deuxième objectif** : S12 doit être supérieur ou égal à -10dB dans la bande de fréquence suivante : [19 GHz-20GHz]

Les figures suivantes représentent les réponses fréquentielles des différents paramètres S dans la gamme 18GHz - 20GHz. Après l'optimisation nous avons obtenu ce résultat :

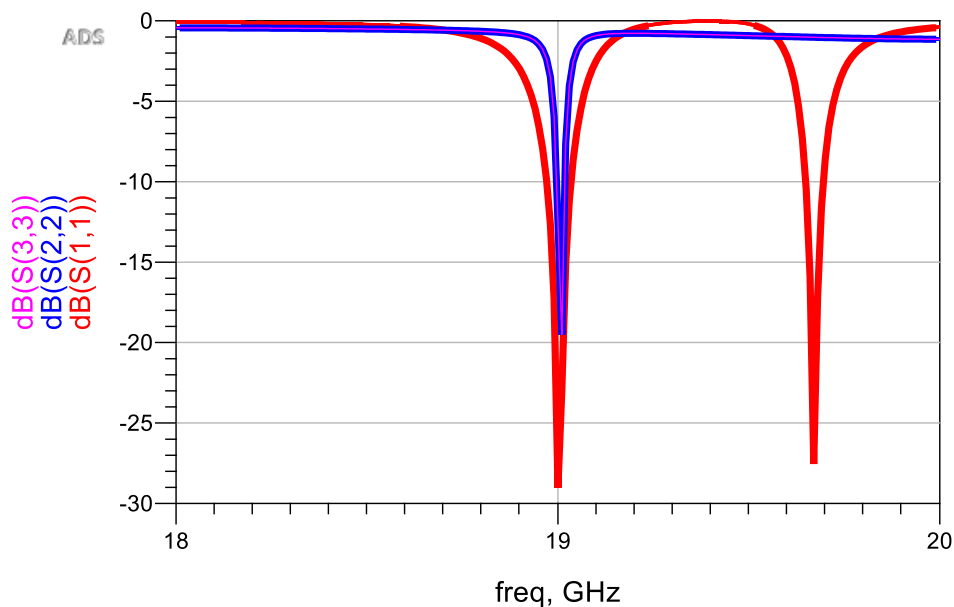


Figure III.10 : Les réponses des différents paramètres de WPD

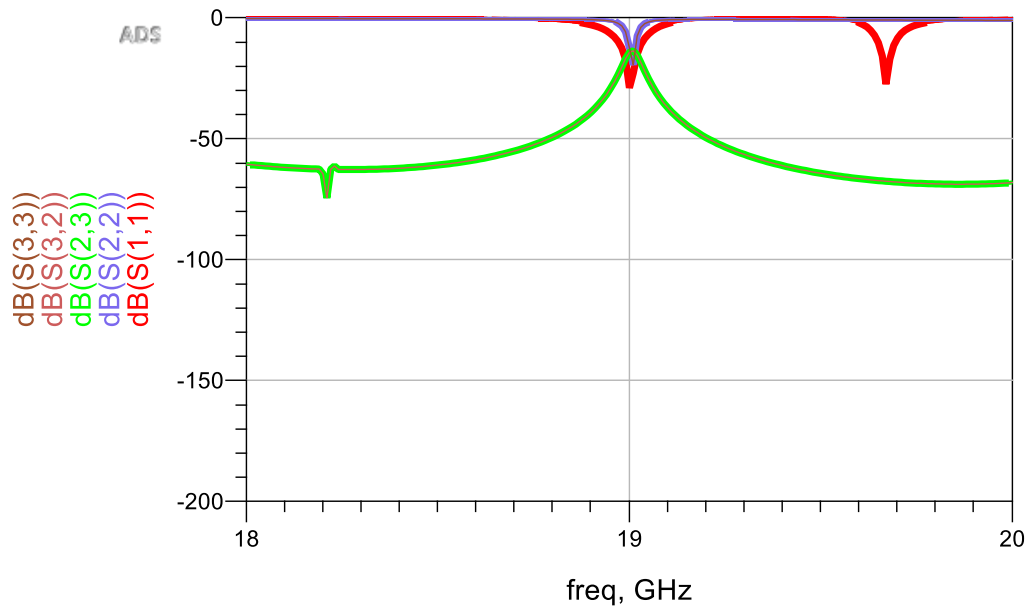


Figure III.11 : Les réponses d'optimisation de WPD

D'après la figure III.11, le diviseur fonctionne suffisamment sur deux bandes de fréquences : 18 GHz à 19 GHz et une autre de 19 GHz à 20 GHz. Ces deux bandes couvrent

Une adaptation.

III.5 Conclusions

Dans ce chapitre, on a fait la conception d'un diviseur de puissance ka band à deux ports de sortie. Ce diviseur proposé est atteint après une étude paramétrique puis une phase d'optimisation qui nous permet d'ajuster les différents paramètres physiques afin d'atteindre les caractéristiques voulues dans deux bandes de fréquences [18GHz-20GHz]

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, on a présenté la conception d'un diviseur de puissance ka bande à deux ports de sortie en utilisant le simulateur ADS.

Nous avons commencé par positionner le travail envisagé en présentant un état de l'art sur le diviseur de puissance Wilkinson, puis nous avons exposé l'essentiel des notions théoriques en liens avec quelques types de diviseur de puissance. Dans le deuxième chapitre, nous avons effectué une étude analytique de diviseur de puissance le plus utilisés dans le domaine RF et microondes tels que le diviseur de Wilkinson (classique et amélioré). L'étude analytique était faite en deux modes pair et impair de diviseur (WPD). Dans le même chapitre, Analyse d'un diviseur Wilkinson.

L'objectif de notre travail était la conception d'un diviseur de puissance Ka-bande à deux ports de sortie. Dédiées dans la bande de fréquence (18 GHZ à 20 GHZ). Pour atteindre cet objectif, une étude paramétrique était faite de diviseur de puissance en utilisant le simulateur électromagnétique ADS.

À la fin, on a proposé un diviseur de puissance à deux ports de sortie. Notre objectif est réalise dans ka bande, Autrefois, le diviseur de Wilkinson fonctionnait à fréquence fixe, mais aujourd'hui, grâce à la recherche scientifique, il est possible de contrôler plus d'une fréquence au moyen des diodes PIN .

Référence Bibliographique

Référence bibliographique

Référence Et Bibliographie

- [1] Boudraa Aymen et Bouhali Rabah, « Etude et conception d'un diviseur de puissance reconfigurable pour les applications mobiles » mémoire de Master, Univ de Msila, 2021.
- [2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Diviseur_de_Wilkinson.
- [3] Tittafi Abdelhadi et Moulay Said, « Etude et conception d'un diviseur de puissance bi-bande à quatre ports » mémoire de Master, Univ de Msila, 2019.
- [4] <https://www.elliptika.com/fr/case-studies/diviseur-de-puissance/>.
- [5] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique-photonique-th13/hyperfrequences-circuits-et-emetteurs-de-puissance-42281210/circuits-passifs-hyperfrequences-e1403/combineur-diviseur-de-puissance-de-wilkinson-e1403niv10004.html>.
- [6] Y. Xu, Y. Laing, and H. Zhou, "Small size reconfigurable antennas for WWAN/LTE/GNSS smartphone applications," IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 11, no. 6, pp. 923–928, Apr. 2017.
- [7] <https://fr.rs-online.com/web/c/interrupteurs/microrupteurs-et-commutateurs-de-detecteurs/commutateurs-rf/>.
- [8] Jean-Marc Capron, Thèse : Modélisation des diodes de puissance, 27 novembre 1992 (lire en ligne [archive]).
- [9] <https://www.digikey.fr/fr/articles/the-fundamentals-of-rf-power-dividers-and-combiners>.
- [10] <https://fr.fmuser.net/content/?955.html>.
- [11] Chekchak Walid et Belaribi Elias «Caractérisation et Simulation de Quelques Structures d'Antennes et Circuits Planaires » mémoire de Master, Univ de JIJEL, 2022.
- [12] Deng, P., J. Guo, and W. Kuo, "New Wilkinson power dividers based on compact stepped-impedance transmission lines and shunt open stubs," Progress In Electromagnetics Research, Vol. 123, 407–426, 2012.
- [13] 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

Référence bibliographique

crossover," IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 6, No. 5, pp. 784-795, Apr. 2016.

[14] S. W. Wong et L. Zhu, «Ultra-Wideband Power Divider with Good In-Band Splitting and Isolation Performances», Microwave and Wireless Components Letters, vol. 18, n° 8, pp. 518-520, IEEE, 2008.

[15] S. W. Wong et L. Zhu, «Ultra-Wideband Power Dividers with Good Isolation and Improved Sharp Roll-Off Skirt», IET Microwaves, Antennas, and Propagation, vol. 3, n° 8, pp. 1157-1163, 2009.

[16] S. B. Cohn, «A Class of Broadband Three-Port TEM Mode Hybrids», Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 16, n° 2, pp. 110-116, IEEE, 1968.

[17] J. S. Chieh et A. Pham, «Development of a Broadband Wilkinson Power Combiner on Liquid.

[18] R. Gomez-Garcia, R. Loeches-Sanchez, D. Psychogiou, and D. Peroulis, "Single/multi band Wilkinson type power dividers with embedded transversal filtering sections and application to channelized filters," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 62, no. 6, pp. 1518-1527, Jun. 2015.

[18] E. J. Wilkinson, "An N-way hybrid power divider," Microwave Theory and Techniques, IRE Transactions on, vol. 8, no. 1, pp. 16-18, 1960.

[19]: M. M. Honari, L. Mirzavand, R. Mirzavand, A. Abdipour, and P. Mousavi, "Theoretical design of broadband multisection Wilkinson power dividers with arbitrary power split ratio," IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 6, no. 4, pp. 605-612, 2016.

[20]: U. H. Gysel, "A new N-way power divider/combiner suitable for high-power applications," in Microwave Symposium, 1975 IEEE-MTT-S International. IEEE, 1975, pp. 116-118.

Référence bibliographique

[21] : Jin, J., X. Lin, X. Gao, X. Zhuang, and Y. Fan, "A dual-band power divider using parallelstrip line with high isolation," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 26, Nos. 11{12, 1594{1601, 2012

[22] : Li, J., J. Nan, X. Shan, and Q. Yan, "A novel modified dualfrequency Wilkinson powerdivider with open stubs and optional isolation," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 24, No. 16, 2223{2235, 2010.

[23] : Wang, X.-Y., J.-L. Li, and W. Shao, "Flexible design of a compact coupled-line powerdivider," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 25, No. 16, 2168{2177, 2011.

[24]:Deng, P., J. Guo, and W. Kuo, "New Wilkinson power dividers based on compactstepped-impedance transmission lines and shunt open stubs," *Progress In ElectromagneticsResearch*, Vol. 123, 407{426, 2012.

[25]: Y. Wu and Y. Liu, "Compact 3-11 GHz UWB planar unequal power divider using two-section asymmetric coupled transmission lines and non-uniform microstrip," *ElectronicsLetters*, vol. 49, no. 16, pp. 1002-1003, 2013.

[26] : Al-Zayed, A. S. and S. F. Mahmoud, "Seven ports power divider with various powerdivision ratios," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 114, 383{393, 2011.

ملخص

يشهد العالم ثورة لا نظير لها في مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية مما أدى الى ظهور العديد من الخدمات في شراكة شبكات الجيل الرابع (LTE) والخامس (5G)، شبكات Bluetooth WLAN ... الخ، والتي بدورها أدت إلى ظهور الحاجة إلى إدماج العديد من الخدمات في جهاز الاستقبال والإرسال واحد في نفس السياق ، كل دارات الميكرويف النشطة وغير النشطة يجب ان تتماشى مع ظاهرة ادماج الخدمات من بين هذه الدارات نذكر مقسم الطاقة الذي يعتبر محورا لبحثنا هذا تعتبر هذه الأخيرة مقسمات الطاقة أحد أهم الدوائر السلبية التي تستعمل في عدة مجالات كالطب، المراقبة، أنظمة الرادار وغيرها من التطبيقات. ومن بين ابرز المقسمات الطاقوية نجد مقسم WILKINSON ومقسم GYSEL المصنغان ضمن أنواع المقسمات الطاقوية التي لها نطاق ترددي ضيق في هذا العمل المقدم. قمنا بتصميم نموذج من مقطع طاقة (WPD)، باستعمال برنامج محاكاة من نوع ADS nomentun ، كما منا بدراسة تحليلية لمقطع طاقة (WILKINSON)، من اجل معاينة تأثير الابعاد الهندسية للمقطع على خصائصه الفيزيائية كذبذبة العمل وعرض النطاق ، بعد الدراسة التحليلية قمنا بتصميم مقسم ثنائي النطاق من نوع wpd ذو خرجين بتردد (جيغاهرتز 20 - جيغاهرتز 18).

الكلمات المفتاحية: محاكي - مقسم الطاقة Wilkinson ، -تحليل المقسم- الميكروويف والترددات

اللاسلكية

Résumé

Le monde assiste à une révolution sans précédent dans le domaine des télécommunications, qui a conduit à l'émergence de nombreux services tels que les réseaux de quatrième génération (LTE) et cinquième (5G), les réseaux Bluetooth et le WLAN... etc., ce qui a conduit à l'émergence de la nécessité d'intégrer de nombreux services dans un seul récepteur et émetteur Dans le même contexte, tous les circuits micro-ondes actifs et passifs doivent être en phase avec le phénomène d'intégration des services Parmi ces circuits, nous mentionnons le diviseur de puissance, qui est au centre de nos recherches, ce dernier est considéré comme l'un des circuits passifs les plus importants qui sont utilisés dans plusieurs domaines tels que la médecine, la surveillance, les systèmes radar et d'autres applications. Parmi les diviseurs de puissance les plus importants, on trouve les répartiteurs WILKINSON et GYSEL, qui sont classés comme des types de diviseurs de puissance ayant une gamme de fréquences étroite dans ce travail présenté.

Nous avons conçu un modèle de section de puissance (WPD), à l'aide d'un programme de simulation de type ADS nomentun, et nous avons également mené une étude analytique de la section de puissance (WILKINSON), afin d'examiner l'effet des dimensions géométriques de la section sur ses propriétés physiques telles que la gravité de l'ouvrage et la bande passante, après l'étude analytique nous avons conçu un répartiteur WPD bi-bande avec deux sorties avec une fréquence (20 GHz - 18 GHz).

mots clé :simulateur ADS -diviseur de puissance Wilkinson,-analyse d'un diviseur –

Micro – ondes et RF

Summary

The world is witnessing an unparalleled revolution in the field of telecommunications, which has led to the emergence of many services such as fourth generation networks (LTE) and fifth (5G), Bluetooth networks and WLAN ... etc., which in turn led to the emergence of the need to integrate many services into one receiver and transmitter. In the same context, all active and passive microwave circuits must be in line with the phenomenon of integrating services. Among these circuits, we mention the power divider, which is the focus of our research, the latter is considered one of the most important passive circuits that are used in several fields such as medicine, surveillance, radar systems and other applications. Among the most prominent power dividers, we find the WILKINSON and GYSEL splitters, which are classified as types of power dividers that have a narrow frequency range in this work presented.

We designed a model of a power section (WPD), using a simulation program of the type ADS momentum, and we also conducted an analytical study of the power section (WILKINSON), in order to examine the effect of the geometric dimensions of the section on its physical properties such as the gravity of the work and bandwidth, after the analytical study we designed a dual-band WPD splitter with two outputs with a frequency (20 GHz - 18 GHz).

keywords :ADS simulator -Wilkinson power divider,-analysis of a divider –

Microwave and RF