

Principes de base des combineurs et des diviseurs de puissance RF

Rich Miron, Applications Engineer at Digi-Key Electronics

L'augmentation des exigences en matière de connectivité sans fil pour des applications telles que l'Internet des objets (IoT) et l'électronique cellulaire et automobile a pour conséquence l'utilisation de plus en plus fréquente de composants, de sous-systèmes et de signaux RF dans les systèmes. Les concepteurs doivent souvent diriger ces signaux vers plusieurs destinations ou combiner plusieurs signaux. Cependant, la combinaison ou la division de signaux peut s'avérer problématique, car les concepteurs doivent garantir le routage des signaux sans dégradation due à la désadaptation d'impédance ou à la charge, tout en maintenant les exigences de taille et de coût critiques.

Le diviseur ou le combineur de puissance RF répond à ce besoin de diviser ou de combiner des signaux entre plusieurs entrées ou sorties. Ces dispositifs utiles effectuent ces tâches tout en maintenant les impédances de charge correctes pour toutes les sources et en fournissant un isolement.

Cet article présente les principes de base de trois types de diviseurs/combineurs de puissance RF couramment utilisés : résistif, hybride et Wilkinson, à l'aide d'exemples de [Susumu](#), d'[Anaren](#), de [MACOM](#) et d'[Analog Devices](#). Il traite de leurs spécifications et de leurs applications communes, permettant aux concepteurs de faire une sélection intelligente de dispositifs, notamment les éléments à prendre en compte pour l'implémentation.

Diviseurs de puissance

Un diviseur de puissance présente un seul signal d'entrée et deux signaux de sortie ou plus. Les signaux de sortie ont un niveau de puissance égal à $1/N$ le niveau de puissance d'entrée, N étant le nombre de sorties dans le diviseur. Les signaux au niveau des sorties, dans la forme la plus courante du diviseur de puissance, sont en phase. Il existe des diviseurs de puissance spéciaux qui fournissent des déphasages contrôlés entre les sorties. Comme mentionné précédemment, les applications RF communes pour les diviseurs de puissance dirigent une source RF commune vers plusieurs dispositifs (Figure 1).

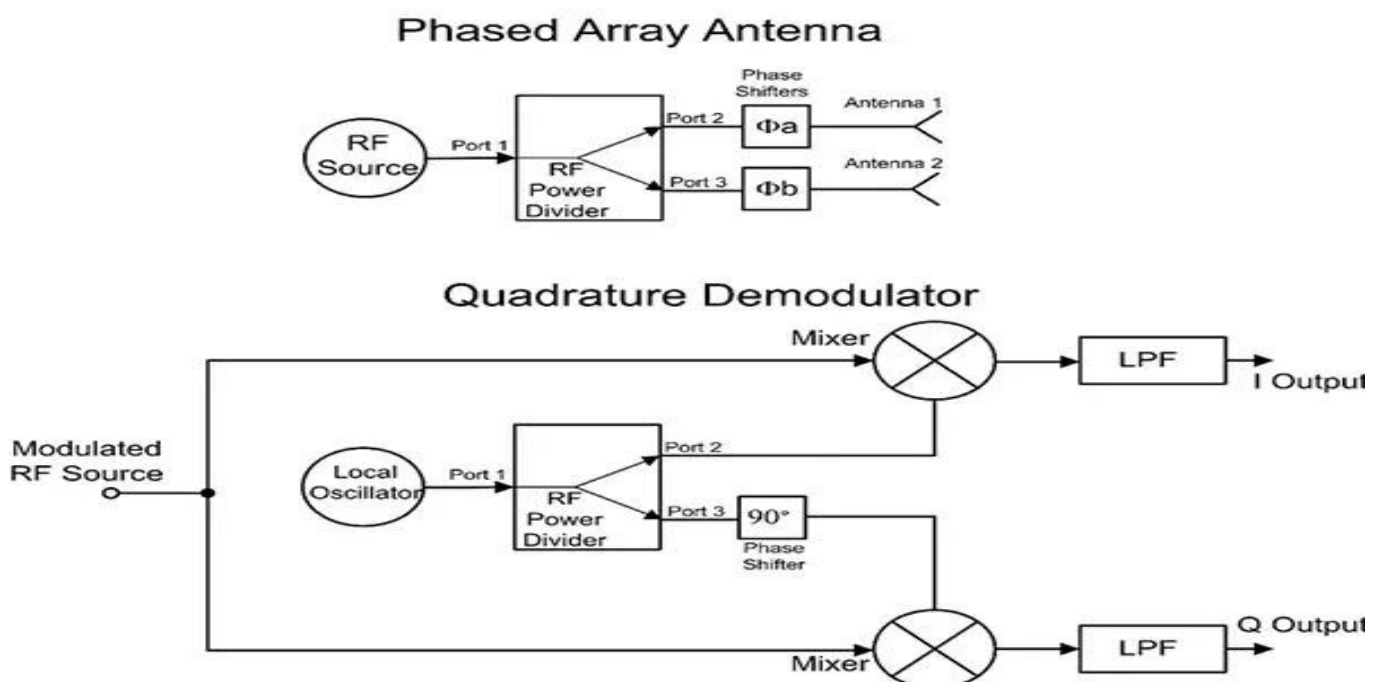


Figure 1 : Les diviseurs de puissance sont utilisés pour diviser un signal RF commun vers plusieurs dispositifs, par exemple dans un système d'antennes à balayage électronique ou dans un démodulateur en quadrature. (Source de l'image : Digi-Key Electronics)

Le premier exemple est une antenne à balayage électronique dans laquelle la source RF est divisée entre les deux éléments d'antenne. Généralement, les antennes de ce type sont dotées de deux à huit éléments ou plus, chacun étant commandé par un port de sortie du diviseur de puissance. Les déphaseurs sont généralement externes au diviseur pour permettre à une commande électronique de diriger l'antenne du diagramme de rayonnement.

Le deuxième exemple est un démodulateur en quadrature qui requiert qu'un oscillateur local soit fourni à deux mélangeurs qui démodulent la porteuse RF en composantes de modulation en phase (I) et en quadrature (Q). Le déphasage de 90° requis pour démoduler le signal Q peut être externe, comme indiqué, ou interne au diviseur de puissance. Dans les deux cas, les niveaux de puissance du signal sont égaux.

Le diviseur de puissance peut être utilisé « en inverse » de manière à pouvoir combiner plusieurs entrées en une seule sortie, ce qui en fait un combineur de puissance. En mode combineur, ces dispositifs permettent d'effectuer une addition ou une soustraction vectorielle de signaux en fonction de leurs valeurs d'amplitude et de phase.

Topologie de diviseur de puissance

Lorsqu'il tente de diviser un signal en deux composantes d'amplitude réduite, le concepteur peut envisager d'utiliser simplement une connexion en « T » en plaçant deux charges sur une source commune (Figure 2).

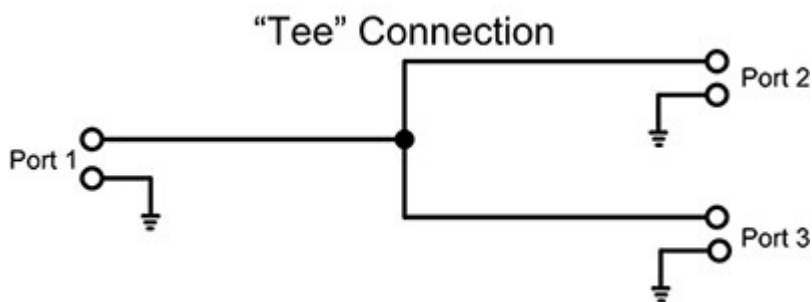
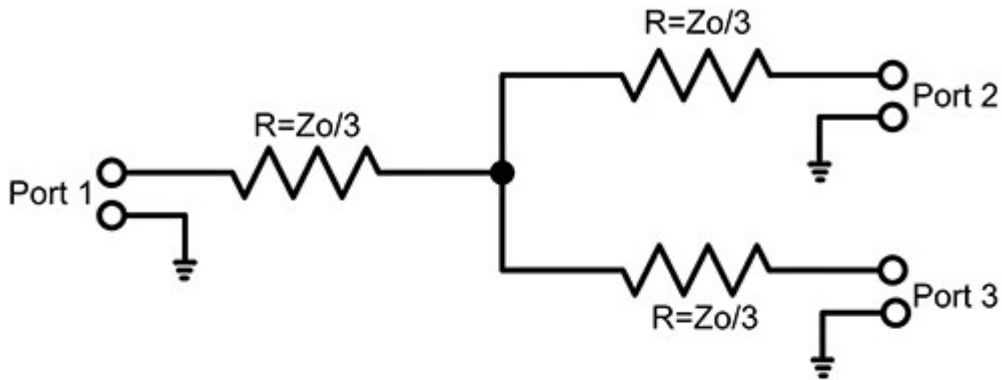


Figure 2 : Une connexion en T de base permet de diviser un signal en deux composantes d'amplitudes égales et de phase similaire, mais avec plusieurs limitations. (Source de l'image : Digi-Key Electronics)

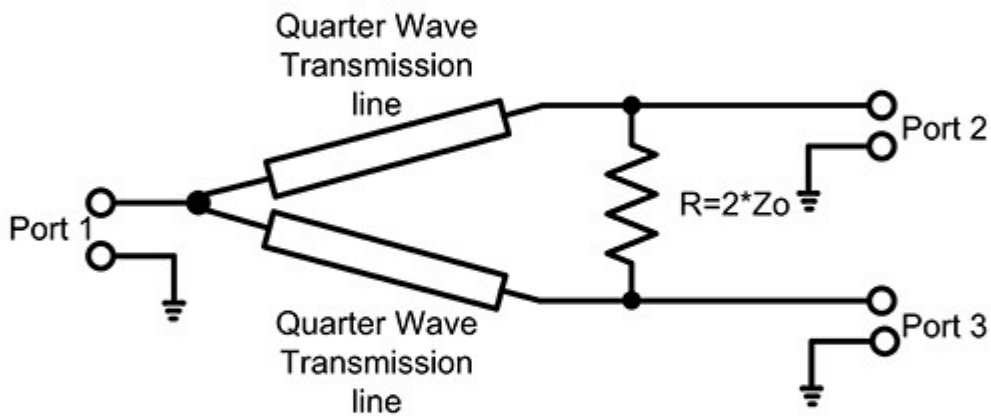
La configuration fonctionne, mais est soumise à quelques limitations. La plus évidente est la désadaptation d'impédance. Si les deux sorties (ports 2 et 3) alimentent $50\ \Omega$, le port d'entrée (port 1) est présenté avec une charge de $25\ \Omega$. Si la source d'entrée est un dispositif de $50\ \Omega$, cela représente donc un problème de charge. Le deuxième problème est le manque d'isolement. Si, par exemple, l'une des sorties était court-circuitée, l'autre port serait également court-circuité.

Il existe trois topologies de circuit principales pour les diviseurs de puissance qui éliminent les limitations d'une connexion en T. Les trois types de topologie sont : résistif, hybride et Wilkinson (Figure 3). Les diviseurs Wilkinson et hybrides appartiennent à une classe de diviseurs appelés diviseurs réactifs.

Resistive Divider



Wilkinson Divider



Hybrid Divider

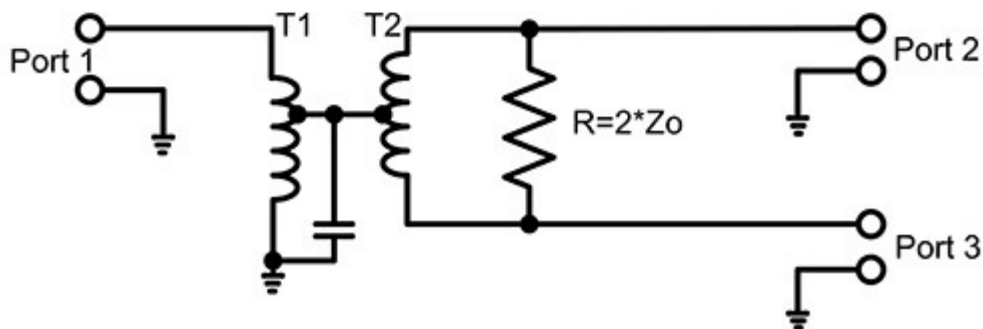


Figure 3 : Schémas simplifiés des trois topologies courantes de diviseur de puissance : types résistif, Wilkinson et hybride. (Source de l'image : Digi-Key Electronics)

Diviseurs résistifs

L'implémentation la plus courante d'un diviseur de puissance, le type résistif, utilise trois résistances de valeur égale, le plus souvent dans une configuration en étoile. En raison de la symétrie du dispositif, il n'existe pas de port

d'entrée désigné. Il est possible d'utiliser n'importe quel port comme entrée. Les valeurs de la résistance correspondent à un tiers de l'impédance caractéristique avec laquelle le diviseur de puissance est utilisé. Dans le cas d'un système de $50\ \Omega$, la valeur est de $16,67\ \Omega$; pour un système de $75\ \Omega$, la valeur de la résistance est de $25\ \Omega$. En tant que groupe, les diviseurs de puissance résistifs ont généralement la largeur de bande de fréquences la plus étendue, car ils ne comportent aucun composant réactif dépendant de la fréquence.

Le principal avantage du diviseur résistif est sa simplicité. Il est facile à implémenter à un coût minimum. Il s'agit également du plus petit dispositif. Son inconvénient majeur est la perte de puissance via les résistances série entre les ports de sortie. Ces dispositifs ont une spécification de puissance nominale. La plupart des applications du diviseur de puissance résistif utilisent une puissance relativement basse. L'isolement fourni par les résistances entre les ports est amélioré par rapport à la configuration en T.

Les amplitudes du signal aux ports de sortie d'un diviseur résistif sont réduites de moitié par rapport à celles au niveau du signal d'entrée (Figure 4).

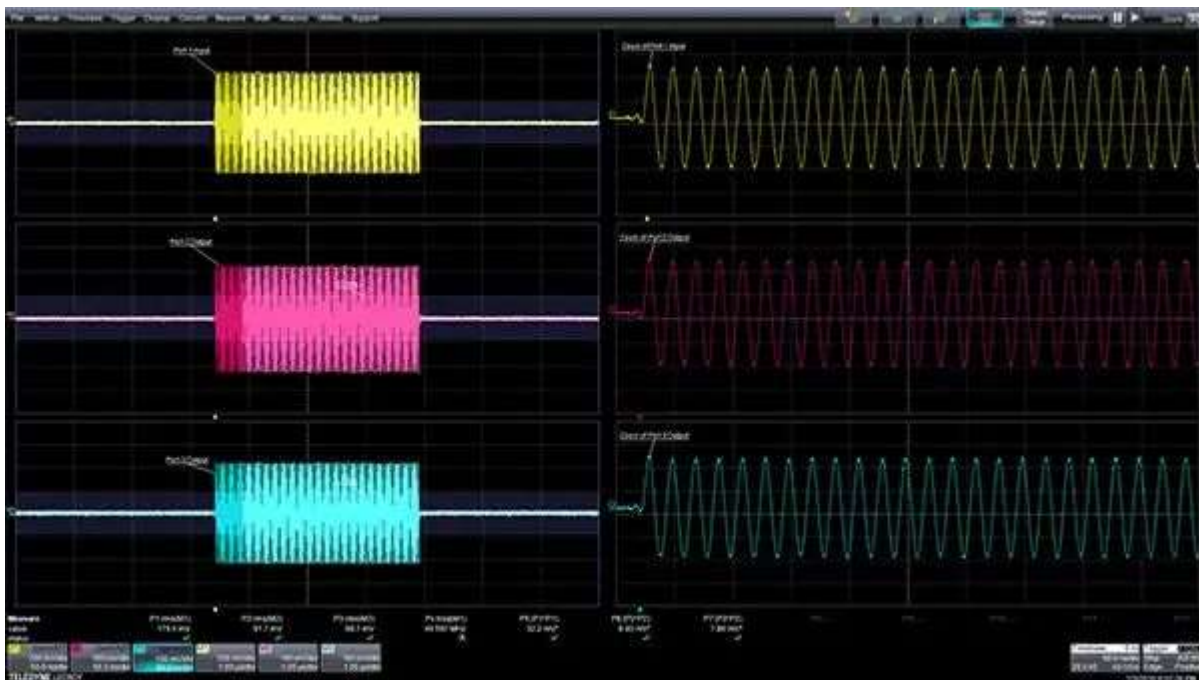


Figure 4 : Comparaison des entrées et des sorties d'un diviseur résistif. Le signal d'entrée est une rafale sinusoïdale de 50 MHz avec une amplitude efficace (RMS) de 179,5 mV (tracé en haut à gauche). Les sorties (tracés du centre et en bas à gauche) ont des niveaux RMS de 91,7 mV (-5,8 dB) et de 88,7 mV (-6,1 dB). Notez que les signaux sont tous en phase, comme prévu. (Source de l'image : Digi-Key Electronics)

Le tracé dans la grille supérieure gauche correspond au signal d'entrée, une rafale sinusoïdale de 50 MHz avec un niveau efficace de 179,5 mV. Les niveaux de sortie dans les grilles du centre et en bas à gauche sont les signaux de sortie avec des niveaux RMS de 91,7 mV et 88,7 mV, respectivement. Ceux-ci sont compris entre -5,8 dB et -6,1 dB en dessous du signal d'entrée. Les trois tracés à droite sont des tracés agrandis et étendus horizontalement pour offrir une vue détaillée. Notez que les signaux sont tous en phase, comme prévu.

Un exemple de diviseur de puissance résistif est le [PS2012GT2-R50-T1](#) de Susumu, un diviseur de puissance résistif à deux ports de $50\ \Omega$ avec une bande passante de 20 GHz. Il a une dissipation de puissance nominale de 125 mW et une perte d'insertion de $6 \pm 0,5$ dB, dont 3 dB sont dus à la puissance dissipée dans les résistances internes. Le dispositif est logé dans un boîtier à montage en surface de 2 mm x 1,25 mm x 0,4 mm.

Diviseurs de puissance Wilkinson

Le diviseur de puissance Wilkinson est un diviseur réactif qui utilise deux transformateurs de ligne de transmission en quart d'onde, parallèles et non couplés. L'utilisation de lignes de transmission rend le diviseur Wilkinson facile à implémenter à l'aide de lignes de transmission à circuit imprimé standard. La longueur des lignes de transmission limite généralement la plage de fréquences du diviseur Wilkinson aux fréquences supérieures à 500 MHz. La résistance entre les ports de sortie permet d'avoir des impédances adaptées tout en fournissant un isolement. Comme les ports de sortie contiennent des signaux de même amplitude et de même phase, il n'y a pas de tension sur la résistance, il n'y a donc pas de flux de courant et la résistance ne dissipe aucune énergie.

Le [PD3150J5050S2HF](#) d'Anaren est un diviseur de puissance de type Wilkinson à deux ports de 50 Ω couvrant une plage de fréquences de 3,1 GHz à 5 GHz avec une puissance nominale maximale de 2 W. Il présente une perte d'insertion de 1 dB (typique), à l'exception de la réduction de puissance de 3 dB, et un isolement supérieur à 15 dB (typique). Il a des dimensions de 2,0 mm x 1,29 mm x 0,53 mm.

Diviseurs de puissance hybrides

Le diviseur de puissance hybride illustré à la Figure 3 est basé sur l'utilisation de transformateurs. Le transformateur T2 est un transformateur à point milieu, formant un autotransformateur avec un rapport de transformation 2:1. L'impédance sur tout le côté de la sortie est quatre fois supérieure à l'impédance du point milieu vers la terre. Si les impédances au niveau de chaque port de sortie (ports 2 et 3) sont de 50 Ω , l'impédance de charge totale est donc de 100 Ω . Elle est renvoyée dans le transformateur à 25 Ω au point milieu de T2. L'adaptation de cette charge à l'entrée (port 1) nécessite le transformateur T1, qui est un transformateur d'adaptation d'impédance de 25 Ω à 50 Ω .

Lorsqu'une entrée est appliquée au port 1, avec les ports 2 et 3 terminés par des charges de 50 Ω , un courant est induit sur les ports 2 et 3 avec un déphasage de 180°. Les courants traversant la résistance R, qui sont égaux à la somme des impédances des ports 2 et 3, 100 Ω dans cet exemple, sont égaux aux phases opposées et s'annulent. Il n'y a pas de tension au port 2 provenant du signal au port 3, et inversement. Il y a théoriquement un isolement infini. La moitié de la puissance d'entrée apparaît sur chacun des ports de sortie.

Le [MAPD-009278-5T1000](#) de MACOM est un diviseur de puissance hybride couvrant une plage de fréquences de 5 MHz à 1 GHz. Il est configuré comme un diviseur à zéro degré à deux ports. Sa perte d'insertion, à l'exception de la réduction de puissance de 3 dB, est inférieure à 1,4 dB. L'isolement est spécifié comme étant typiquement de 20 dB. Ce diviseur peut gérer une puissance maximale de 250 mW et ses dimensions physiques sont de 4,45 mm x 4,22 mm x 3 mm.

Diviseurs de puissance actifs

Les applications nécessitant une division du signal sans perte peuvent utiliser des diviseurs de puissance actifs tels que l'[ADA4304-3ACPZ-R7](#) d'Analog Devices. Il s'agit d'un diviseur de puissance 3:1 de 75 Ω avec un amplificateur intégré pouvant fournir un gain de 3 dB. Il présente une bande passante de 2400 MHz destinée à une utilisation dans une plage de fréquences de 54 MHz à 865 MHz. L'isolement sortie-à-sortie est supérieur à 25 dB. L'impédance de 75 Ω et la plage de fréquences indiquent que ce diviseur est destiné aux applications de téléviseurs, notamment les décodeurs à tuners multiples et les téléviseurs à convertisseur intégré.

Parmi les dispositifs décrits, les diviseurs résistifs sont les plus simples et présentent la bande passante la plus étendue possible et généralement la taille la plus compacte, mais ils ont une perte d'insertion plus élevée et un isolement plus faible. Les diviseurs de puissance Wilkinson offrent une insertion inférieure et un isolement supérieur, mais ont une bande passante plus restreinte. Leur taille physique varie en fonction de la plage de fréquences spécifique requise. Le diviseur hybride offre une faible perte d'insertion et un excellent isolement, mais avec une taille physique plus grande. Les diviseurs de puissance actifs éliminent la perte d'insertion, mais ont tendance à être plus coûteux.

Éléments à prendre en compte pour l'implémentation

Bien que les combinateurs de puissance soient très simples, ils peuvent toujours engendrer des problèmes s'ils ne sont pas utilisés correctement. Par exemple, méfiez-vous des décalages CC à l'entrée. Les combinateurs hybrides, qui utilisent des transformateurs, n'interagissent pas avec le courant continu.

Dans les diviseurs résistifs, la présence de courant continu peut réduire leur puissance nominale. Tous les combinateurs de puissance passifs ont des topologies symétriques et les concepteurs doivent conserver cette symétrie lors de leur utilisation. Les charges doivent être adaptées et équilibrées. L'utilisation d'impédances de charge non adaptées entraîne des niveaux de sortie inégaux.

Dans les applications nécessitant des différences de phase fixes, telles que l'alimentation d'un oscillateur local dans un modulateur ou un démodulateur en quadrature, les chemins de sortie doivent être de longueur égale afin d'éviter toute désadaptation de phase au niveau des mélangeurs.

Conclusion

La nécessité de diviser ou de combiner des signaux est essentielle dans la conception RF moderne de diverses applications, notamment l'IoT, les communications numériques et l'aide à la conduite automobile. Les diviseurs/combinateurs de puissance remplissent cette fonction. Les options pour les concepteurs devant utiliser un diviseur de puissance se décomposent en trois topologies de diviseurs de puissance, chacune ayant ses propres compromis. Une connaissance fondamentale des caractéristiques de chaque topologie permet aux concepteurs de sélectionner le diviseur de puissance approprié.

www.digikey.fr/fr/articles/techzone/2019/aug/the-fundamentals-of-rf-power-dividers-and-combiners