Article technique

Antennes réseau à commande de phase : un nouveau paradigme pour les composants électroniques des satellites



Introduction

Que ce soit sur Terre ou dans l'espace, les systèmes radar et de communication cellulaire utilisent des bandes de fréquences spécifiques, réglementées par les organismes de normalisation tels que la Commission fédérale des communications des États-Unis. L'essentiel du spectre radiofréquence (RF) étant déjà occupé, les ingénieurs ont dû imaginer des manières de l'exploiter plus efficacement grâce à des schémas d'encodage (modulation d'amplitude en quadrature, modulation par déplacement de phase, etc.) ou encore de multiplexage par répartition dans le temps ou en fréquence. En outre, la nécessité de partager les ressources entre davantage d'utilisateurs et d'accélérer la transmission des données a inspiré un nouveau schéma de multiplexage, dit « par répartition spatiale ».

Avantages des antennes réseau à commande de phase

Le multiplexage par répartition spatiale consiste à affecter des fréquences à des utilisateurs en fonction de leur localisation physique. Le recours à des antennes à grande directivité permet à un système RF de concentrer les fréquences qui lui sont allouées sur une zone particulière ou sur un ensemble d'utilisateurs donné. Pour une communication fixe, point à point, par exemple une liaison terrestre sans fil (*backhaul*), le choix doit se porter sur une antenne stationnaire à faisceau unique. En revanche, pour les systèmes mobiles comptant plusieurs utilisateurs, il est nécessaire d'utiliser

une antenne multifaisceau orientable, par exemple une antenne réseau à commande de phase.

Avant le développement de cette technologie, il était nécessaire de faire pivoter mécaniquement le récepteur parabolique d'un système radar pour rechercher les cibles dans toutes les directions ; il était donc difficile de suivre une cible en particulier dans une zone spécifique. Les antennes réseau à commande de phase, quant à elle, orientent électroniquement le faisceau RF afin de suivre les cibles en déplacement, mais aussi de maîtriser la directivité et le gain.

De plus, elles sont capables d'émettre et de recevoir plusieurs faisceaux grâce à un procédé numérique de formation de faisceau, et donc de rechercher et de suivre plusieurs cibles.

En utilisant ces atouts sur les systèmes de stations de base (cellulaires) 4G et 5G, il est possible de garantir un débit de donnée bien plus rapide à un nombre bien plus élevé d'utilisateurs. Grâce aux faisceaux plus étroits émis par les antennes à entrées multiples et sorties multiples (MIMO) ou en réseau à commande de phase, la station de base offre une bande radiofréquence plus large à un nombre plus restreint d'utilisateurs situés dans la direction ciblée.

Description des antennes réseau à commande de phase

Les réseaux d'antennes à commande de phase sont constitués de plusieurs antennes plus petites, positionnées selon un arrangement plan, linéaire ou rectangulaire, et contrôlées par un système analogique ou numérique d'orientation du faisceau. La mise en place d'une phase ou d'une temporisation pour chaque antenne permet d'utiliser les interférences constructive et destructive pour orienter le faisceau RF dans une direction donnée.

Sur un système de formation analogique de faisceaux (voir Figure 1), un composant appelé « déphaseur » contrôle électroniquement la temporisation. Les systèmes numériques d'orientation du faisceau (voir Figure 2), quant à eux, mettent en place la temporisation au niveau du processeur. Les convertisseurs de données qui assurent l'orientation numérisent les informations reçues et émises par chaque antenne, ce qui augmente le nombre de composants, donc la taille, le poids, la puissance et le coût du système (on parle de l'équation « SWaP-C », de l'anglais « size, weight, power and cost »).

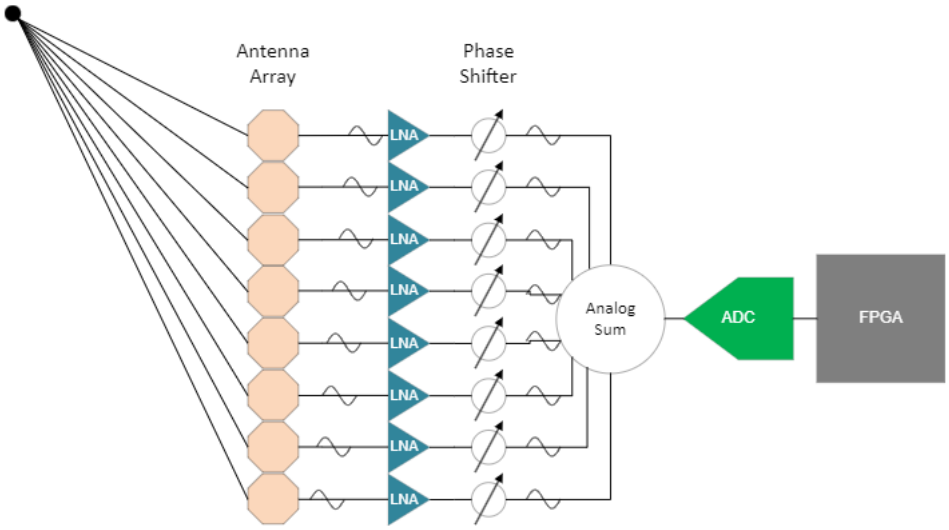


Figure 1. Formation analogique de faisceaux

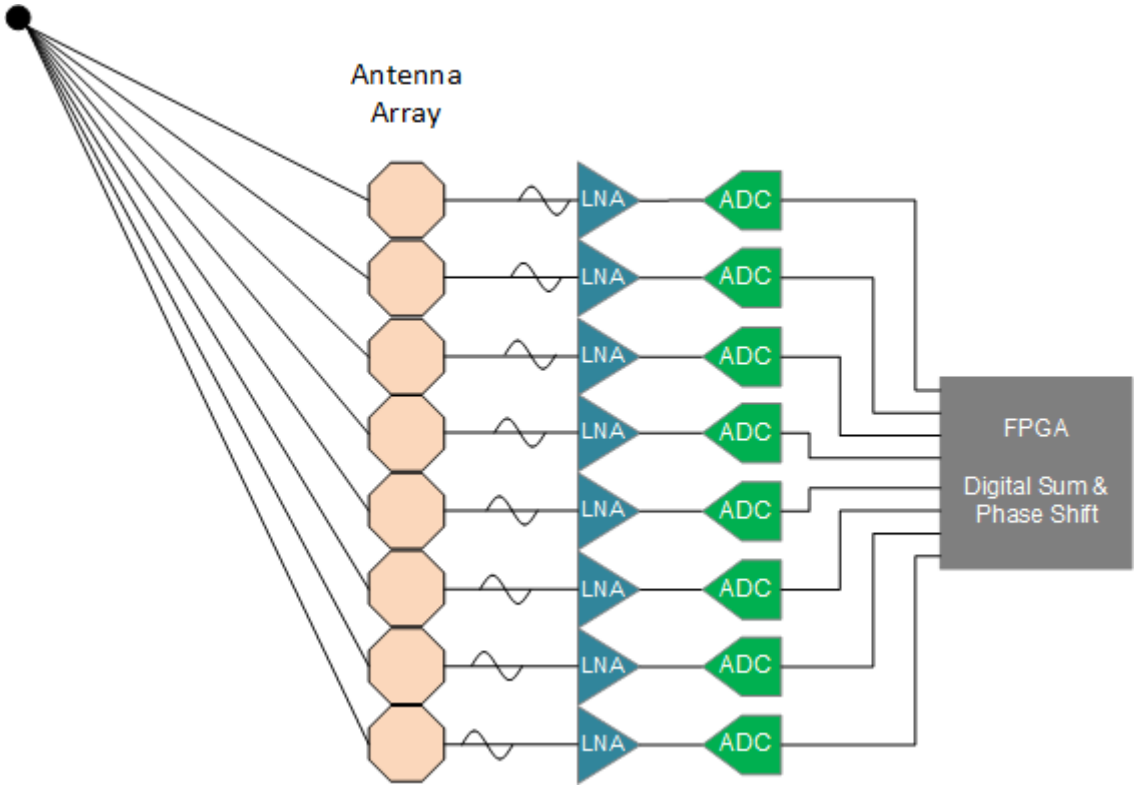


Figure 2. Formation numérique de faisceaux

Utilisation des antennes réseau à commande de phase dans l'espace

Les constellations de satellites qui fournissent Internet à haut débit sont un bon exemple de réseau d'antennes à commande de phase dans l'espace. Ces satellites sont placés en orbite terrestre basse (OTB), ce qui garantit une latence bien plus faible aux utilisateurs puisque la distance à parcourir par les signaux est nettement plus faible que pour les satellites en orbite géostationnaire. Pour être envoyées dans l'espace, les

antennes réseau à commande de phase doivent être compactes, légères et consommer peu de puissance, car le coût de lancement d'un satellite en orbite est d'environ 2 600 $ par kilogramme au moins.

Améliorer l'équation SWaP-C dans l'espace

Les ingénieurs disposent de nombreux leviers pour réduire la taille, le poids, la puissance et le coût des systèmes terrestres et aériens ; mais ces solutions ne sont souvent pas applicables à l'environnement spatial, qui exige des systèmes durcis contre les rayonnements, ou au moins résistants aux rayonnements. Si les entreprises ont la possibilité de soumettre les circuits intégrés disponibles dans le commerce à leurs propres essais sous rayonnement (on parle alors de tests de surclassement à très hauts volumes), ce n'est pas une option économiquement viable pour celles qui ne lancent quelques dizaines ou centaines de satellites.

TI recommande de recourir à des circuits intégrés prévus pour l'espace, dans la plupart des cas, et propose un certain nombre de classifications (voir Figure 3). Avec la démocratisation des boîtiers en plastique renforcé pour l'espace (*Space EP*) de classe P ou Y selon la liste des fabricants qualifiés (*Qualified Manufacturers List*, QML), les constructeurs de satellites sont désormais en mesure de réduire la taille et le poids de leurs systèmes par rapport aux boîtiers en céramique classiques de classe V.

	Rating	Space				
	Classification	Space EP	SHP	QML-P	QML-Y	QML-V
Production testing and documentation provided	Vendor item drawing (VID)	✓	✓	✕	✕	✕
	Standard microcircuit drawing (SMD)	✕	✕	✓	✓	✓
	Process conformance report	✓	✓	✓	✓	✓
	Process conformance report content	See product page		MIL-PRF-38535 Group A, B, C, D, E		
Manufacturing	Single controlled baseline	✓	✓	✓	✓	✓
	Multiple wafer lots per reel possible	✕	✕	✕	✕	✕
	Life test per wafer lot	✕	✓	✓	✓	✓
Packaging	Package construction	Plastic	Plastic	Plastic - Wirebond or flip chip with overmold	Plastic - flip chip w/o overmold	Hermetic
	Bond wires	Au	Au	Au	N/A	Al
	Pure tin (Sn) lead finish possible?	✕	✕	✕	✕	✕
	>97% Tin (Sn) inside package possible*	✓ for flip chip				✕
	Production burn-in required	✕	✓	✓	✓	✓
	Outgassing tested per ASTM E595	✓	✓	✓	✓	N/A
Radiation	TID characterization range (krad/Si)	30 to 50	50 to 300			
	TID radiation lot acceptance testing (RLAT) range – RHA (krad/Si)	20, 30 or 50	50, 100 or 300			
	SEL immunity (MeV*cm2/mg)	≥ 43	≥ 60			
Typical temperature range		−55–125°C				

Table illustrates typical values for each Classification rating. For precise data or detailed information, please refer to the product-specific page.

* BI unless Optimization aligned with DLA

TID = Total Ionizing Dose
VID = Vendor Item Drawing
SEL= Single-Event Latch-up
RHA = Radiation Hardness Assured
QML = Qualifed Manufacturers List
SMD = Standard Microcircuit Drawing

Figure 3. Classifications des dispositifs de TI

TI propose également des concepts de référence dédiés aux applications de réseau à commande de phase. Par exemple, le concept de référence d'émetteur-récepteur intégré pour l'espace 4T5R (voir Figure 4) propose une solution d'échantillonnage radiofréquence à quatre transmetteurs et cinq récepteurs, résistante aux

rayonnements, opérant sur la bande X et basée sur l'AFE7950-SP. Le dispositif compte six convertisseurs analogique-numérique 14 bit, 3GSPS et quatre convertisseurs numérique-analogique 14 bit, 12GSPS sur une matrice de billes de 17 mm x 17 mm. Le concept de référence inclut également le LMX2694-SEP, un synthétiseur à boucle à phase asservie de 15 GHz destiné à l'horloge, le LMK04832-SEP pour la distribution d'horloge de référence, plusieurs dispositifs TRF0208-SEP utilisés comme symétriseurs actifs, et une solution de gestion de la puissance. Les dispositifs TRF0208-SEP sont capables de convertir plusieurs signaux asymétriques en signaux différentiels, avec un gain de 16 dB et une linéarité correcte jusqu'à 8 GHz, dans un boîtier de 2 mm x 2 mm ; ils assurent ainsi le rôle d'un bloc de gain RF et d'un symétriseur passif. L'intégralité de la solution tient sur une carte mezzanine de sous-répartition à trajets virtuels (VPX, voir Figure 5). Elle est conforme à la norme VMEbus International Trade Association (VITA) 57.

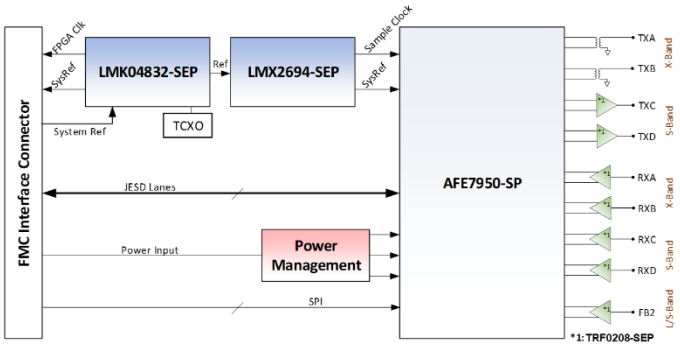


Figure 4. Schéma du concept de référence de l'émetteur-récepteur 4T5R

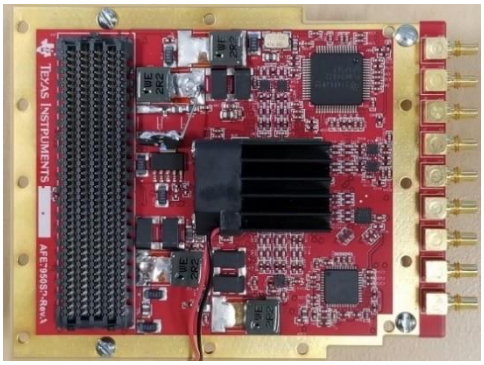


Figure 5. Photographie de la carte d'émetteur-récepteur 4T5R

Dans le cadre d'un autre concept de référence, TI s'est associé à Alpha Data afin d'élaborer une solution VPX 6U pour la nouvelle matrice prédiffusée programmable par l'utilisateur AMD Versal, la XQRVC1902. Produite par Xilinx, cette dernière est parfaitement adaptée aux applications à commande de phase, qui nécessitent un grand nombre d'émetteurs-récepteurs ultrarapides et à matrice programmable. Le kit Alpha Data ADM-VA600 (voir Figure 6) contient une solution de puissance complète, capable de répondre aux besoins en alimentation de la matrice prédiffusée programmable par l'utilisateur Versal, ainsi que des composants d'horloge, d'interface, de détection et de

microcontrôleur des dispositifs en plastique renforcé pour l'espace de TI. La gamme de dispositifs de gestion de puissance de TI inclut des convertisseurs CC-CC, des contrôleurs CC-CC et des pilotes de grille, des commutateurs de charge et des régulateurs à faible chute de tension tels que le TPS7H1111-SP ou le TPS7H1111-SEP.

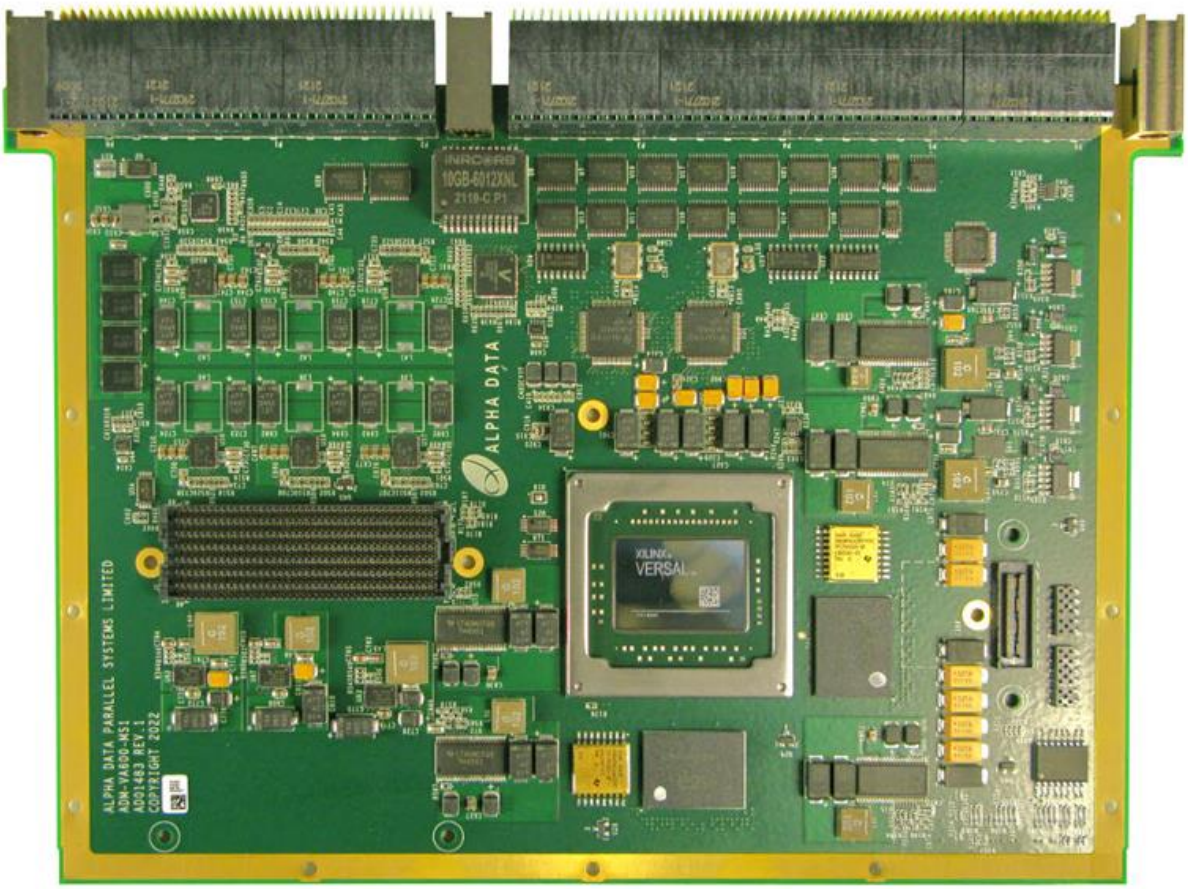


Figure 6. Carte modulaire ADM-VA600

Conclusion

Si les antennes réseau à commande de phase complexifient légèrement la conception des systèmes, elles renforcent nettement les capacités des satellites de nouvelle génération. Le recours à des composants optimisés permet aux ingénieurs de limiter la taille, le poids, la puissance et le coût de leurs solutions, ainsi que d'ajouter des fonctionnalités tout en maintenant un facteur d'encombrement similaire à celui des architectures héritées.

Ressources complémentaires

Consultez le webinaire « Améliorer l'équation SWaP-C des systèmes d'antennes réseau à commande de phase pour l'espace » (session 1 : fuseaux horaires CEST et IST | session 2 : fuseaux horaires CDT et PDT).

Tenez-vous informé des dernières nouveautés en matière de systèmes durcis contre les rayonnements et résistants aux rayonnements en consultant le Guide 2024 des produits pour l’espace ;

Pour en savoir plus, rendez-vous sur ti.com/space