

Matrice de Butler 3D compacte et large bande pour applications 5G

A. Cayron¹, C. Viallon¹, A. Ghannam², A. Magnani², T. Parra^{1,2}

¹ LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INSA, UPS, 7 avenue du Colonel Roche, F-31062 Toulouse

²DiS Technologies, 478 Rue de la Découverte, F-31670 Labège

Résumé – Une matrice de Butler 4×4 très compacte et large bande couvrant les fréquences 5G de 25 GHz à 29 GHz est présentée. L'utilisation d'une technologie d'intégration 3D permet d'aboutir à de très bonnes performances pour l'ensemble des voies, avec des pertes d'insertion inférieures à 1,5 dB, et des déphasages stabilisés à -45°, +135°, -135° et +45° avec une déviation inférieure à ±6°.

1. Introduction

La montée en fréquence au-delà de 20 GHz des prochaines générations de systèmes radio à très hauts débits, comme, par exemple, pour le standard 5G, se traduit par la miniaturisation des antennes et leur organisation en faisceaux directifs (beamforming). Parmi les circuits de pilotage intégrés en amont des antennes, la matrice de Butler est une des solutions explorées mais elle présente souvent des dimensions importantes, des performances et/ou des coûts de fabrication peu favorables [1][2]. La matrice de Butler 4×4 présentée dans ce papier s'appuie sur une technologie 3D de type IPD (Integrated Passive Device), pour une solution faible coût, extrêmement compacte, large bande et à faibles pertes.

2. Conception de la matrice de Butler 3D

Les figures 1 et 2 présentent la matrice 4×4 simulée sous ANSYS HFSS destinée à piloter 4 antennes distinctes à connecter sur les sorties 5 à 8.

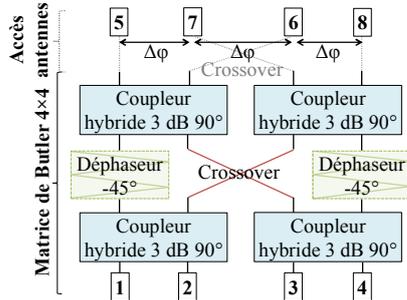


Figure 1. Diagramme d'une matrice de Butler 4×4.

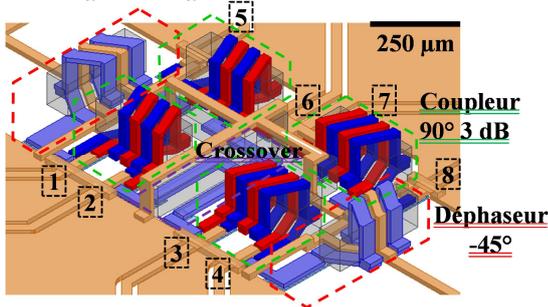


Figure 2. Vue 3D de la matrice.

Les quatre coupleurs 3 dB 90° résultent d'une intégration à éléments localisés. Ils sont chacun constitués de deux solénoïdes 3D imbriqués [3]. Des capacités MIM (Métal-Isolant-Métal) sont rajoutées pour renforcer le couplage et améliorer l'adaptation sur 50 Ω. Ceux-ci opèrent sur la bande 22-30 GHz avec des pertes d'insertion de 0,34 dB et une phase de 90°±3° à 26 GHz et 28 GHz. Les deux déphaseurs -45° utilisent des enroulements 3D adaptés sur 50 Ω par des capacités MIM. Le déphasage obtenu est de -45°±5° par rapport au croisement central (crossover) sur toute la bande 20-40 GHz. Les performances de ces composants sont conservées lorsqu'ils sont insérés dans la matrice grâce à l'ajout de murs électriques 3D qui limitent

fortement les couplages. Au final, la matrice de Butler occupe une surface extrêmement compacte de 1,2×0,7 mm².

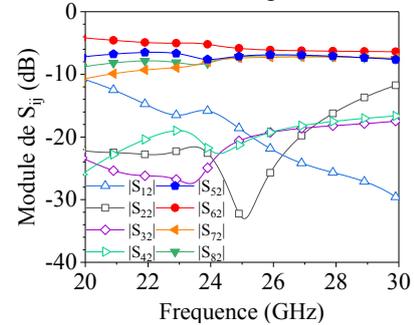


Figure 3. Paramètres S évalués pour un signal appliqué à l'accès 2

Les performances simulées de la matrice pour un signal appliqué à l'accès 2 sont présentées dans le graphe de la figure 3. Les transmissions relevées sur les 4 sorties sont meilleures que -7,5 dB sur la bande 25-29 GHz, soit 1,5 dB de pertes par rapport aux -6 dB théoriques, un résultat à l'état de l'art. La réflexion et l'isolation des autres accès d'entrée restent inférieures à -15 dB. Ces performances sont conservées pour un signal appliqué aux autres accès.

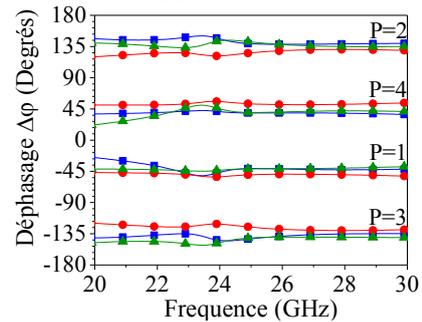


Figure 4. Déphasage $\Delta\phi$ entre les sorties pour un signal appliqué à l'accès P: (-●-) $\phi(S_{7P})-\phi(S_{8P})$; (-■-) $\phi(S_{6P})-\phi(S_{7P})$; (-▲-) $\phi(S_{8P})-\phi(S_{6P})$.

Les déphasages entre les sorties sont présentés sur la figure 4. A 26 GHz, les déphasages théoriques de -45°, +135°, -135° et +45° sont bien obtenus avec un écart maximal de ±6,5° quel que soit l'accès excité. Ces déphasages restent constants sur la large bande 25-31 GHz, avec un écart maximal de seulement ±10°.

3. Conclusion

Une matrice de Butler intégrée à l'aide d'un procédé technologique IPD 3D est présentée. Cette solution conduit à des densités d'intégration innovantes (la surface de 0,84 mm² est 6 fois plus faible que celle des réalisations les plus compactes en technologies IPD conventionnelles [1]), tout en présentant des niveaux de pertes (1,5 dB) et des largeurs de bande (4 GHz en bande K) comparables à ce que permettent les réalisations en technologie SIW les plus performantes. Cette matrice est en fin de fabrication et les résultats expérimentaux pourront être présentés lors de la conférence.

Références

- [1] W.-C. Lee, et al., « A compact switched beam-forming network using silicon IPD technology for low-cost 5G communication », IEEE MTT-S Int. Microwaves. Symp., IMS, San Francisco, USA, pp. 1-3, 2016.
- [2] Q.-L. Yang, et al., « SIW Butler Matrix with Modified Hybrid Coupler for Slot Antenna Array », IEEE Access, vol. 4, pp. 9561-9569, 2016.
- [3] A. Cayron, et al., « Transformateurs d'impédance 3D adaptés en fréquence pour applications RF », Journées Nationales Microondes, JNM, Saint-Malo, France, 2017.