HAL
open science

Synthèse indépendante des coefficients de réflexions de la matrice de diffusion d'une méta-surface

Antoine Calleau, Maria Garcia-Vigueras, Mauro Ettorre, Hervé Legay

To cite this version:

Antoine Calleau, Maria Garcia-Vigueras, Mauro Ettorre, Hervé Legay. Synthèse indépendante des coefficients de réflexions de la matrice de diffusion d'une méta-surface. Journée Nationales Micro-Ondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01511254

HAL Id: hal-01511254

https://hal.science/hal-01511254v1

Submitted on 20 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Synthèse indépendante des coefficients de réflexions de la matrice de diffusion d'une méta-surface

Antoine Calleau[1], Maria Garcia-Vigueras[1], Mauro Ettore[1], Hervé Legay[2]

[1]*Institut d'Electronique et de Télécommunication de Rennes, 35000 Rennes*
[2]*Thales Alenia Space, 31000 Toulouse*

Résumé *– Cette communication présente la synthèse d'une cellule réflectrice afin d'approcher une matrice de diffusion voulue. Cette étude est motivée par le besoin grandissant de contrôler le coefficient de réflexion en co-polarisation des méta-surfaces ainsi que le couplage entre polarisations incidente et croisée, en amplitude et en phase. L'utilité de la synthèse est montrée avec une application de conversion de polarisation linéaire en polarisation circulaire, la bande sous 3dB du rapport elliptique obtenue est de 17% autour de 16GHz. Toutes les simulations sont effectuées sous CST.*

1. Introduction

La polarisation circulaire est aujourd'hui nécessaire dans la plupart des systèmes de communications radios [1-2], elle peut être obtenue en alimentant directement une antenne avec une source polarisée circulairement [3], ou en convertissant une source polarisée linéairement, souvent plus simple et plus compacte. De nombreux systèmes requièrent l'utilisation de réflecteurs polarisants, ainsi la conversion d'une polarisation linéaire à circulaire peut être obtenue via une méta-surface. Les méta-surfaces sont usuellement des surfaces planes périodiques (ou quasi périodiques) elles présentent un intérêt grandissant chez les chercheurs car leurs propriétés sont souvent comparées à celles des méta-matériaux [4-5]. On retrouve les MS dans la synthèse d'antennes Fabry-Pérot polarisantes [6-7] ainsi que dans la conception de réflecteurs et de surfaces sélectives en fréquence [8-12].

De manière générale le coefficient de réflexion d'une MS quelconque illuminée par une onde plane polarisée linéairement présente quatre composantes, une correspondant à la CO polarisation, une seconde correspondant à la CROSS polarisation et deux autres correspondant au couplage entre la CO et la CROSS polarisation. Le contrôle de ces composantes permet un contrôle de la polarisation de l'onde réfléchie (ou transmise) par ladite MS. Cette communication présente une méthode innovante de synthèse indépendante des paramètres de la matrice de réflexion d'une MS réfléchissante. Nous montrons l'utilité de cette synthèse en proposant un concept permettant la conversion d'une onde polarisée linéairement en onde polarisée circulairement. Dans la partie 2, nous présentons les mécanismes de réflexions d'un tel système. Dans la partie 3, la cellule unitaire ainsi que ses paramètres sont détaillés. Nous détaillons ensuite la synthèse de la cellule pour approcher une matrice de diffusion voulue dans la partie 4. Enfin, dans la partie 5, nous présentons un exemple d'application permettant la conversion d'une polarisation linéaire en polarisation circulaire.

2. Mécanismes de réflexion mis en jeu

2.a. Incidences sur une surface réfléchissante

Dans le cas d'une incidence oblique, si le champ électrique (resp. magnétique) est compris dans le plan d'incidence, l'incidence est alors qualifiée d'incidence TM (resp. TE) (cf. Figure 1). L'angle d'incidence est noté θ. La surface peut être représentée par sa matrice de diffusion S pour laquelle les indices R et I indiquent la nature réfléchie ou incidente de l'onde.

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{TM_R}{TM_I} & \frac{TM_R}{TE_I} \\ \frac{TE_R}{TM_I} & \frac{TE_R}{TE_I} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dans le cas d'une incidence TM, cette matrice peut être simplifiée :

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & 0 \\ S_{21} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{TM_R}{TM_I} & 0 \\ \frac{TE_R}{TM_I} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{\theta\theta} & 0 \\ R_{\varphi\theta} & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

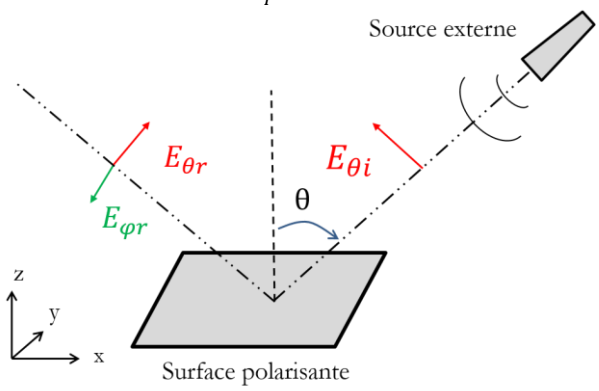

Figure 1 Incidence TM sur la surface polarisante, une représentation similaire peut être imaginée pour l'incidence TE.

2.b. *Obtention d'une polarisation circulaire*

Dans le cas d'une incidence TM afin d'obtenir une polarisation circulaire, les équations suivantes doivent être vérifiées :

$$|E_{\theta r}| = |E_{\varphi r}| \quad (3)$$

$$\angle E_{\theta r} = \angle E_{\varphi r} \pm {}^{\pi}/_{2} \quad (4)$$

Cela revient à respecter les coefficients de réflexions suivants :

$$|R_{\theta\theta}| = |R_{\varphi\theta}| \quad (5)$$

$$\angle R_{\theta\theta} = \angle R_{\varphi\theta} \pm {}^{\pi}/_{2} \quad (6)$$

De plus en appliquant la loi de conservation d'énergie, la surface étant totalement réfléchissante, nous pourrons noter que :

$$|R_{\theta\theta}|^2 + |E_{\varphi\theta}|^2 = 1 \quad (7)$$

$$|R_{\theta\theta}| = |E_{\varphi\theta}| = {}^{\sqrt{2}}/_{2}\,(-3dB) \quad (8)$$

3. Présentation de la cellule unitaire

3.a. *Paramètres de la cellule*

La cellule proposée est présentée en figure 2.a, elle présente une section carrée de maille inférieure à la demie longueur d'onde. Elle est composée de haut en bas d'une croix imprimée sur le dessous d'un diélectrique, d'un parallélogramme percé dans une plaque métallique et enfin du plan de masse. La croix (cf. Figure 2.b) a pour rôle de contrôler les phases des composantes de l'onde réfléchie, elle présente deux paramètres : Wx et Wy, respectivement les largeurs de branches selon $\hat{x}$ et $\hat{y}$. Ce motif est séparé de la masse par une distance h. Le parallélogramme (cf. Figure 2.c) a pour rôle de contrôler l'amplitude de la dépolarisation, il présente deux paramètres : la taille du carré original Xs et la transformation en parallélogramme transcrite par Px [8]. Enfin les deux motifs sont séparés d'une distance H.

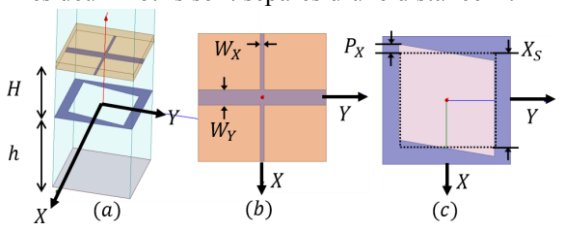

Figure 2 (a) Cellule unitaire (b) motif capacitif (c) motif inductif.

3.b. *Mécanisme de la cellule unitaire*

(cf. Figure 3) La hauteur 'H' a un effet important sur les phases. A mesure que 'H' croît, les phases diminuent de manière égale. La hauteur 'h' en revanche a un effet moins important, logiquement puisque moins d'énergie passe au travers du second motif. Ces deux paramètres seront utilisés pour un **réglage grossier des phases.**

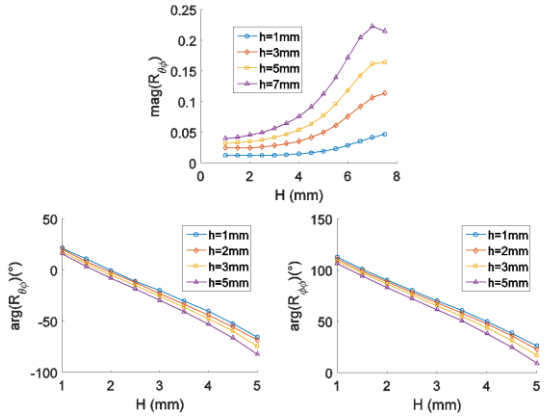

Figure 3 Effets des paramètres H et h sur les coefficients de réflexions.

(cf. Figure 4) Si Px est non nul, le parallélogramme présente deux cotés non orthogonaux ou parallèles à la polarisation incidente. C'est ainsi que le couplage à la polarisation orthogonale est créé. Plus l'amplitude de Px est grande plus $|R_{\theta\varphi}|$ est grand, en revanche l'effet sur les phases est plus modeste, on pourra remarquer que le signe de Px implique un déphasage de ±180° sur $\angle R_{\theta\varphi}$. Px sera donc utilisé pour **régler $|R_{\theta\varphi}|$.**

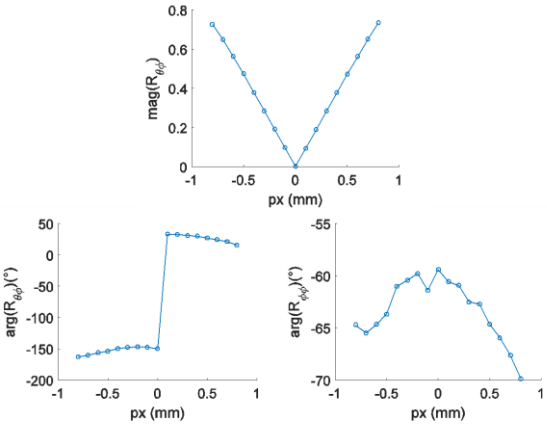

Figure 4 Effets du paramètre Px sur les coefficients de réflexions.

(cf. Figure 5) A mesure que Wx croît, les phases croient de manière égale, logiquement puisque tout déphasage appliqué à la polarisation incidente est retrouvé sur la polarisation orthogonale. En revanche, à mesure que Wy croît, seule la phase de la polarisation orthogonale varie, cette propriété intéressante nous permettra donc d'utiliser **Wy pour régler $\angle R_{\theta\varphi}$ et Wx pour contrôler $\angle R_{\theta\varphi}$ et $\angle R_{\varphi\varphi}$.**

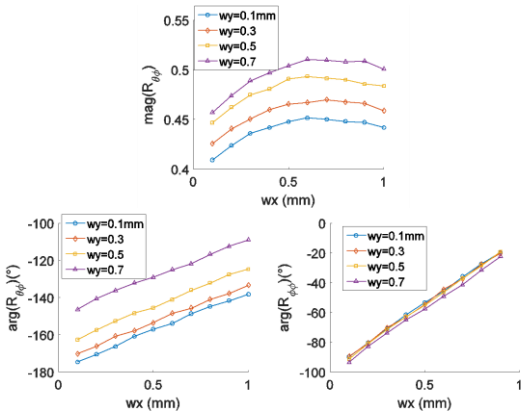

Figure 5 Effets des paramètres Wx et Wy sur les coefficients de réflexions.

4. Synthèse de la cellule

La synthèse de la cellule est donnée à la figure 6.

5. Exemple de synthèse

Afin de valider cette étude nous proposons un exemple d'application. L'application visée est la conversion d'une polarisation linéaire à circulaire pour une incidence TM oblique (20°) à 15GHz. Le diélectrique utilisé a une épaisseur $t_d = 0.787mm$ et une permittivité relative $\varepsilon_r = 2.2$, enfin la maille utilisée est $\frac{2\lambda}{5}$ (8mm). Les simulations sont menées sous CST. Les résultats sont résumés dans le tableau 1.

	$\lvert R_{\theta\varphi}\rvert$		$\angle R_{\theta\varphi}$	$\angle R_{\varphi\varphi}$	
Requis	0.707		0°	-90°	
Atteint	0.696		-2.2°	-90.7°	
Paramètres (mm)	H	h	Px	Wx	Wy
	6.9	8.425	-0.75	0.48	0.15

Table 1. Tableau des valeurs de la cellule pour l'obtention d'une polarisation circulaire à partir d'une onde polarisée linéairement en incidence oblique TM.

Ces premiers résultats sont satisfaisants et montrent que la synthèse proposée permet d'approcher une matrice de diffusion voulue. La cellule obtenue est ensuite étudiée en fréquence. Le rapport elliptique obtenu en champ lointain pour la structure est donné à la figure 7. La bande sous 3dB obtenue est de 17%.

Initialisation

- Wx=Wy=0.1mm
- |Px|=0.1
  - Px<0 si $\angle R_{\varphi\theta} > 0$
  - Px>0 si $\angle R_{\varphi\theta} < 0$

Première étape

- H et h sont utilisées pour un réglage grossier des phases.
- Augmenter (resp. diminuer) H et h afin que $\angle R_{\varphi\theta}$ et $\angle R_{\theta\theta}$ soient proches mais sous leur valeurs cibles.

Deuxième étape

- Augmenter Wx pour régler $\angle R_{\theta\theta}$
  - Si $\angle R_{\varphi\theta}$ est en dessous de sa valeur cible → augmenter Wy jusqu'à l'atteindre.
  - Si $\angle R_{\varphi\theta}$ est au dessus de sa valeur cible → diminuer (si possible) Wy jusqu'à l'atteindre, ou augmenter H et reprendre la deuxième étape

Troisième étape

- Suite à la seconde étape, la valeur de $\lvert R_{\varphi\theta}\rvert$ a augmentée, deux cas se distinguent :
  - $\lvert R_{\varphi\theta}\rvert$ est en dessous de sa valeur cible → augmenter $\lvert P_X\rvert$ jusqu'à l'atteindre, si la valeur cible n'est pas atteignable, augmenter h, et repartir de la première étape.
  - $\lvert R_{\varphi\theta}\rvert$ est au-dessus de sa valeur cible → diminuer (si possible) jusqu'à l'atteindre, sinon diminuer h et reprendre à partir de la première étape

Etape finale

- Recommencer les étapes deux et trois jusqu'à l'obtention des spécifications voulues pour les trois paramètres.

Figure 6 Synthèse de la cellule unitaire

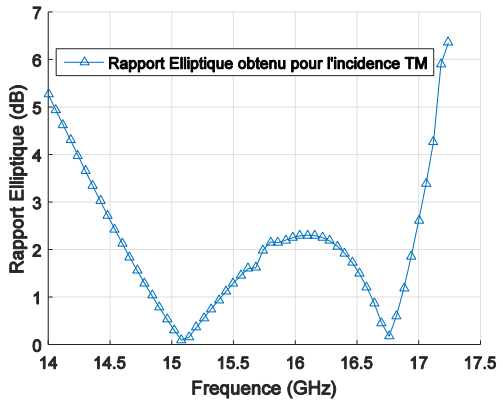

Figure 7 Rapport Elliptique en fréquence pour l'incidence TM à 20°.

Les figures 8 et 9 présentent la magnitude et la phase des champs E_θ et $E_\varphi$réfléchis.

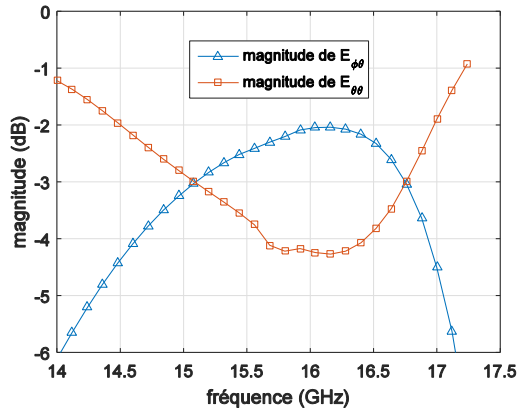

Figure 8 Magnitude des champs E_θ et $E_\varphi$réfléchis.

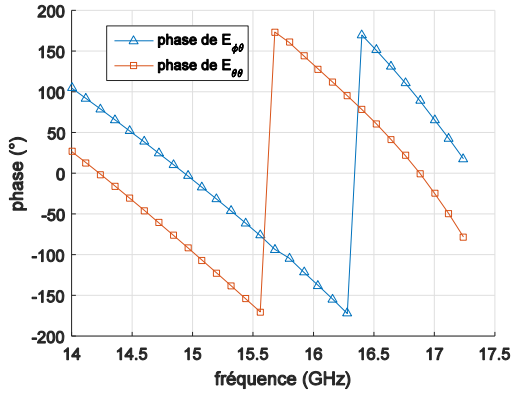

Figure 9 Phase des champs E_θ et $E_\varphi$réfléchis.

Les résultats sont très satisfaisants avec un déphasage de 90° sur toute la bande et une magnitude proche de -3dB pour les deux polarisations sur la bande.

6. Conclusion

Nous avons proposé dans cette étude une synthèse innovante permettant un contrôle de la matrice de diffusion d'une méta-surface en amplitude et en phase. La méthode de synthèse a été détaillée et un exemple d'application de conversion de polarisation linéaire en polarisation circulaire est proposé. Pour cet exemple, la bande pour laquelle le rapport elliptique est sous 3dB est de 17%.

Références

[1] G. Maral and M. Bousquet, *« Satellite Communications Systems, Systems, Techniques and Technology»*. Sussex, U.K.: Wiley, 2009, ch. 5, p. 208.

[2] K. S. Min, J. Hirokawa, K. Sakurai, M. Ando, and N. Goto, *«Single-layer dipole array for linear-to-circular polarization conversion of slotted waveguide array»,* Inst. Elect. Electr. Proc. Microw. Antennas Propag., vol. 143, no. 3, June 1996.

[3] Fan Qin and Al. *« Wideband Circularly Polarized Fabry-Perot Antenna»*, IEEE antennas & propagation magazine, pp. 127-135, Oct. 2015.

[4] C. L. Holloway and Al. *« A discussion on the interpretation and characterization of metafilms /metasurfaces: the two-dimensional equivalent of metamaterials »*, Metamaterials, vol. 3, no. 2, pp. 100-112, Oct 2009.

[5] C. L. Holloway and Al. *« An overview of the theory and applications of metasurfaces: the two-dimensional equivalent of metamaterials »*, IEEE Antennas Propag. Mag., vol54, no2, pp.10-35, Avr. 2012.

[6] Shoaib Anwar Muhammad and Al. *« Self-Polarizing Fabry-Perot Antennas Based on Polarization Twisting Element »,* IEEE Transaction on Antennas and Prop., vol. 61, no. 3, pp. 1032-1040, Mars 2013.

[7] Robert Orr and Al. *« Design Method for Cicularly Polarized Fabry-Perot Cavity Antennas »,* IEEE Transaction on Antennas and Prop., vol. 62, no. 1, pp. 19-26, Jan. 2014.

[8] Xavier Artiga and Al. *« Polarimetric Control of Reflective Metasurfaces »,* IEEE Antennas and Wireless Prop. Letters, vol. 11, pp. 1489-1492, 2012.

[9] Robert Orr and Al. *« Circular Polarization Frequency Selective Surface Operating in Ku and Ka Band »,* IEEE Transaction on Antennas and Prop., vol. 63, no. 11, pp. 5194-5197, Nov. 2015.

[10] Robert Orr and Al. *« Linear to Circular Polarization Reflector With Transmission Band »,* IEEE Transaction on Antennas and Prop., vol. 63, no. 5, pp. 1949-1956, Mai 2015.

[11] H. L. Zhu and Al. *« Linear-to-Circular Polarization Conversion Using Metasurface »,* IEEE Transaction on Antennas and Prop., vol. 61, no. 9, pp. 4615-4623, Sept. 2013.

[12] D. M. Pozar and Al. *« A shaped-beam microstrip patch reflectarray »,* IEEE Transaction on Antennas and Prop., vol. 47, no. 7, pp. 1167-1173, Jul. 1999.