

Modélisation VHDL-AMS d'une fibre optique à saut d'indice

Fatima Zohra Baouche ^{1,2*}, Farida Hobar ^{1†} et Yannick Hervé ^{3‡}

¹ Laboratoire des Microsystèmes et Instrumentations, LMI
Université de Constantine, Route Ain El - Bey, 25000, Constantine, Algérie

² Université de Khemis Miliana, Route Theniet El Had,
Khemis Miliana, 44225 Ain Defla, Algérie

³ Institut d'Electronique du Solide et des Systèmes, InESS
UMR 7163 Laboratoire, Université Louis Pasteur, CNRS, ENSPS, Pôle API
Parc d'Innovation, B^{3d} S. Brant, 67400 Illkirch Cedex, France

(reçu le 07 Décembre 2013 – accepté le 30 Mars 2014)

Résumé - *La simulation peut jouer un rôle important dans toutes les phases de développement des systèmes de communications, depuis les premières étapes de conception, jusqu'aux dernières étapes de réalisation, de test et de mise en œuvre du système. Dans cet article, nous avons appliqué les différentes techniques de modélisation possibles du langage VHDL-AMS pour la création des modèles opérationnels d'une fibre optique à saut d'indice. Nous avons développé une bibliothèque de modèles de fibre à saut d'indice pour les utiliser dans des systèmes modernes des énergies renouvelables.*

Abstract - *The simulation can play an important role in all phases of development of communication systems, from the early stages of design, to the last stages of development, testing and implementation of the system. In this article, we applied different modeling techniques available VHDL-AMS language for the creation of the operational models of the multi-mode step index optical fiber. We have developed a library of step index fiber models for use in modern systems of renewable energy.*

Mots Clés: VHDL-AMS – VCSEL - Fibre optique à saut d'indice - Top-Down - Test bench.

1. INTRODUCTION

Actuellement, on peut partager des connaissances à travers un modèle de composant disponible dans une bibliothèque VHDL-AMS. Donc, Il ne s'agit plus, pour les concepteurs, de créer un modèle pour une application spécifique, mais d'essayer de penser à sa réutilisabilité.

Ceci passe tout d'abord par une écriture documentée des modèles, afin de les rendre compréhensibles, paramétrables et éventuellement, modifiables facilement. Puis par une conception ayant recours à des paramètres accessibles aux utilisateurs, issus des fiches techniques de chaque composant.

Un modèle VHDL-AMS comporte différentes déclarations (entité, configuration et paquetage) et les différents corps associés (architecture et paquetage).

Les fonctions analogiques sont décrites à l'aide d'équations différentielles et algébriques avec le temps comme variable indépendante.

Notre objectif est de d'écrire une modélisation fiable tenant compte des effets multi-technologiques et de leurs interactions. Pour obtenir un haut degré de précision, nous

* fbaouche@yahoo.com

† hobarfarida@yahoo.fr

‡ yrv@wanadoo.fr

avons utilisé la méthode ‘top down’. Ainsi, nous avons écrit des modèles pratiques, réutilisables et exploitables par une large communauté.

Les calculs numériques des équations différentielles et la simulation de l’aspect analogique et mixte des modèles de la fibre à saut d’indice sont effectués grâce au simulateur Smash 5.19 du Dolphin Integration en langage VHDL-AMS. Ces calculs sont nécessaires pour une analyse rigoureuse du comportement de chaque composant optoélectronique.

2. ETAPES DE MODELISATION EN VHDL-AMS

Comme nous nous arrêtons à la production de modèles, sans aller jusqu’à l’intégration physique, la méthode de conception que nous avons utilisée est l’approche ‘top-down’ [1, 2] qui est la phase descendante du cycle PVF (Prototypage Virtuel Fonctionnel).

En utilisant cette méthode et pour comprendre nos objectifs, nous commençons par une vision extérieure du dispositif jusqu’à l’obtention d’un niveau de détail suffisant. Une fois que les spécifications sont établies, la modélisation commence par un niveau comportemental qui décrit le système comme une ‘boîte noire’ [3]. Il descend ensuite progressivement dans les niveaux d’abstraction en fonction de nos besoins. Si l’on veut modéliser un système de haut niveau, la simulation doit être la plus rapide possible et alors il n’est pas nécessaire de le décrire plus en détail au niveau comportemental.

Dans la conception de systèmes multidisciplinaires, plusieurs étapes doivent être prises en considération. La première étape consiste à déterminer les besoins potentiels d’un client et effectuer une analyse du problème. Suite à l’analyse, nous préparons un cahier de charge. Cette spécification pose les problèmes, les contraintes imposées pendant la solution, ainsi que les critères utilisés pour juger de la qualité de conception.

En posant le problème, toutes les fonctions nécessaires et les caractéristiques souhaitées doivent être spécifiées. Nous devons ensuite trouver les solutions possibles; cette étape est souvent appelé l’étape de la conception. Les solutions sont préparées de façon suffisamment détaillée pour indiquer comment obtenir chacune des fonctions souhaitées. Les différentes solutions sont évaluées, et la plus appropriée est choisie.

Dans la dernière étape, appelée ‘mise en œuvre’, le travail est effectué avec la solution choisie pour déterminer les détails de conception optimale. Une fois ces étapes terminées, nous avons une bibliothèque de modèles VHDL-AMS qui décrivent tout ou une partie d’un système.

La nécessité de prévoir avec précision les performances des composants existant requiert une approche de modélisation physique basée sur la prédiction et la description des phénomènes [4]. Les modèles technologiques basés sur les mesures (descriptifs) [4]. Les modèles développés dans notre travail sont basés sur les équations physiques de composants à l’aide de leurs paramètres internes.

3. MODELES VHDL-AMS D’UNE FIBRE OPTIQUE A SAUT D’INDICE

La modélisation prédictive très fine d’une fibre optique, nécessite la connaissance des phénomènes physiques régissant son fonctionnement. Ce qui est traduit par des

équations décrivant son comportement et permettant d'appréhender les effets de second ordre.

Notre objectif est d'étudier l'influence des effets de l'atténuation, de la dispersion modale et chromatique sur le signal propagé, pour déterminer les limites de la longueur de la fibre optique. Pour modéliser la transmission du signal optique à travers de la fibre, nous avons connecté le modèle électro optique du VCSEL créé dans [5] au modèle de la fibre à saut d'indice suivant le code du 'Test-Bensh' nécessaire.

Pour modéliser la transmission du signal optique à travers la fibre à saut d'indice, nous avons connecté le modèle électro optique de la diode laser à cavité verticale émettant par la surface (VCSEL) étudié dans la référence [5] au modèle de la fibre optique à saut d'indice suivant un code 'Test-Bensh'.

3.1 Variation de l'indice de réfraction dans la fibre

Dans le modèle VHDL-AMS de la fibre à saut d'indice, nous avons utilisé les équations physiques spécifiques de ce type de fibre, puis nous avons créé un simple modèle. La Figure 1 [5] montre la variation de l'indice de réfraction à l'intérieur de la fibre. Nous constatons une augmentation brusque à l'interface cœur – gaine après une valeur constante de l'ordre de 1.45 sur le diamètre du cœur de la fibre.

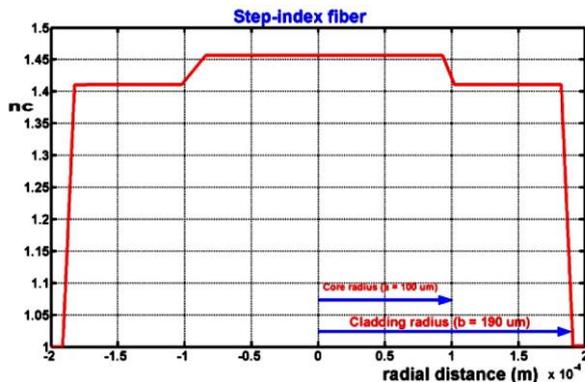


Fig. 1: Indice de réfraction à la jonction cœur-gaine [5]

3.2 Effet de la dispersion modale et chromatique

L'atténuation (exprimée en dB.km^{-1}) est intégrée dans nos modèles. Elle indique la baisse de la puissance optique moyenne [6] au long de la fibre. Lorsque nous injectons une puissance incidente P_{in} dans une fibre optique, cette dernière subit une atténuation A , après une distance x , proportionnelle au terme, $\exp(-\alpha \times x)$, comme l'indique l'équation (1) [7].

$$A = 10 \times \log \left[e^{\alpha} \right] = \frac{1}{L} \times 10 \times \log \left(\frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{out}}} \right) \quad (1)$$

Où α , est le coefficient d'absorption, x , la distance parcourue (longueur de la fibre exprimée en km), P_{in} , la puissance optique à $x = 0$. La puissance optique P_{out} à la sortie de la fibre [6]. La valeur d'atténuation linéaire est disponible dans les fiches techniques 'Data-Sheets' du fabricant.

Tout signal injecté dans une fibre optique de longueur, L , subit une déformation à cause des phénomènes de la dispersion. En pratique, la dispersion se traduit par un étalement temporel caractérisé par un temps de montée. Les figures 2 et 3, montrent les différents types de dispersion existants [8, 9].

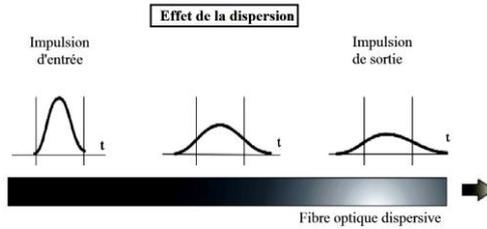


Fig. 2: Dispersion dans les fibres multi modes [8]

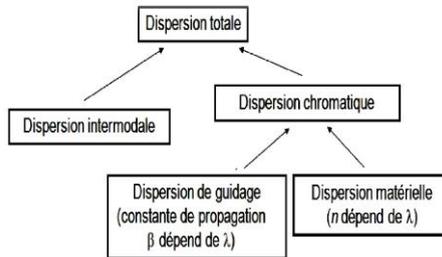


Fig. 3: Différents types de dispersions [9]

L'énergie lumineuse injectée à l'entrée de la fibre est répartie entre différents modes qui se propagent dans le cœur de la fibre avec une vitesse v_m . Après un trajet de distance L , le décalage est: $\Delta\tau = L n_c (n_c - n_g) / c \times n_g$. Dans le modèle VHDL-AMS de la fibre à saut d'indice, nous avons utilisé les équations (2) et (3) respectivement, du coefficient de la dispersion modale D_{mod} (Ps/km) et de la dispersion intermodale $\Delta\tau_{mod}$ (Ps) [10].

$$D_{mod} = \frac{ON^2}{2 \times n_c \times c} \tag{2}$$

$$\Delta\tau_{mod} = \frac{ON^2}{2 \times n_c^3 \times c} \times L \tag{3}$$

Où ON est l'ouverture numérique de la fibre, n_c , l'indice de réfraction du cœur et c , la vitesse de la lumière dans le vide.

La figure 4, montre que la dispersion modale ' D_{mod} ' est constant pour une valeur de 0.49×10^5 Ps/km. En outre, la figure 5, montre que la dispersion modale suit un profil linéaire en fonction de L , car l'indice de réfraction du cœur de la fibre à saut d'indice est constant sur le diamètre du cœur. L'augmentation de la dispersion modale ' τ_{mod} '

avec celle de la longueur de la fibre ' $\Delta\tau_{\text{mod}}/\Delta L$ ' est égale à 50×10^3 Ps/km. La dispersion chromatique utilisée dans la modélisation est égale à 46 Ps. Elle est négligeable devant la dispersion modale.

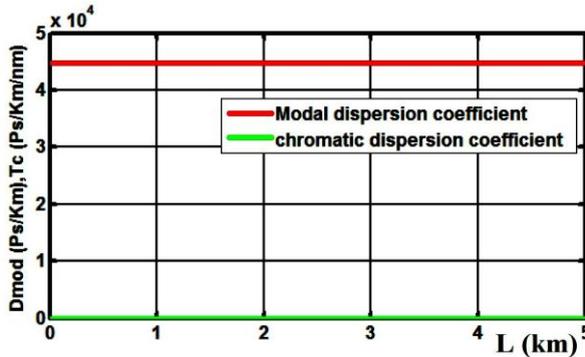


Fig. 4: Variation du coefficient de la dispersion modale et chromatique d'une fibre optique à saut d'indice

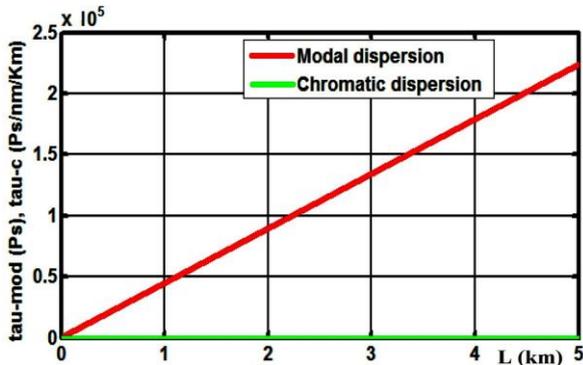


Fig. 5: Variation de la dispersion modale chromatique d'une fibre optique à saut d'indice

3.3 Dispersion totale

Les différences de temps de propagation entraînent un étalement des impulsions émises dans la fibre. Cette dispersion modale crée un élargissement d'impulsion $\Delta\tau_{\text{m}}$ qui augmente avec la distance parcourue. Il s'y ajoute un effet de dispersion chromatique $\Delta\tau_{\text{c}}$.

La réponse impulsionnelle globale résulte de la combinaison quadratique des deux phénomènes, qui agissent comme deux distributions indépendantes. La dispersion totale dans la fibre optique est par l'équation (4), [11].

$$\Delta\tau = \sqrt{\Delta\tau_{\text{mod}}^2 + \Delta\tau_{\text{c}}^2} \quad (4)$$

La figure 6 indique la variation de la dispersion totale avec la longueur de la fibre à saut d'indice. Cette variation est égale à celle de la dispersion modale τ_{mod} .

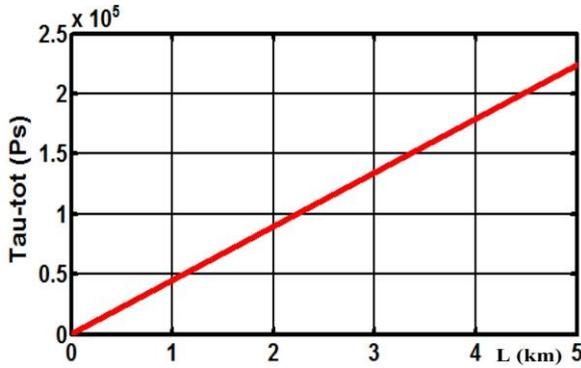


Fig. 6: Variation de la dispersion totale en fonction de la longueur d’une FOI

3.4 Bande passante

La figure 7, représente la variation de la bande passante ‘BP’ en fonction de la longueur L de la fibre optique à saut d’indice et du produit BP×L. Cette dernière est constante pour une valeur de 10 MHz et $\Delta B_p / \Delta L = - 5 \text{ MHz/km}$.

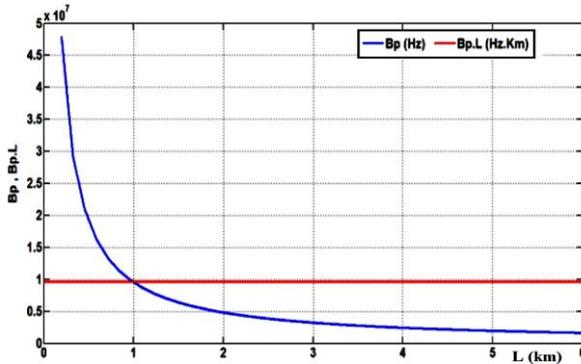


Fig. 7: Variation de la bande passante en fonction de la longueur d’une fibre optique à saut d’indice

3.5 Pertes par courbures

Les fibres optiques présentent des pertes de propagation supplémentaires quand elles sont pliées. En règle générale, ces pertes augmentent très rapidement, une fois qu’un certain rayon de courbure critique est atteint.

Ce rayon critique peut être très faible (quelques millimètres) pour les fibres présentant des caractéristiques de guidage robustes (grande ouverture numérique), alors qu’il est beaucoup plus grand (dizaines de centimètres) pour les fibres monomodes avec de grandes zones de mode.

Pour la fibre à saut d’indice, nous avons trouvé une valeur constante de R_c égale à 11 mm (Fig. 8). Les pertes par courbures sont plus élevées dans une fibre à saut d’indice que dans une fibre à gradient d’indice.

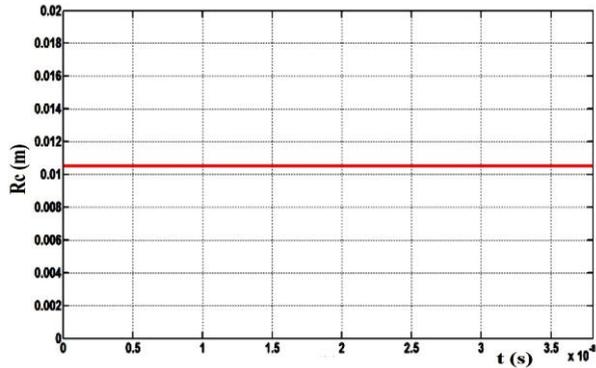


Fig. 8: Variation des pertes de courbures dans une fibre optique à saut d'indice

3.4 Puissance optique de sortie

Pour transmettre la lumière à travers une fibre optique, il faut établir une liaison entre le VCSEL et la fibre. La lumière pénètre dans la fibre perpendiculairement à son extrémité, à travers sa surface cylindrique. La fibre optique accepte les rayons inclus dans le cône d'entrée limité par son ouverture numérique, par conséquent, les rayons émis par la source de lumière non inclus dans ce cône seront perdus.

La figure 9, indique la variation de la puissance optique à la sortie d'une fibre optique à saut d'indice en fonction de la longueur de cette fibre. Nous remarquons que, la puissance optique diminue avec l'augmentation de L , jusqu'à son extinction à une distance de 5 km.

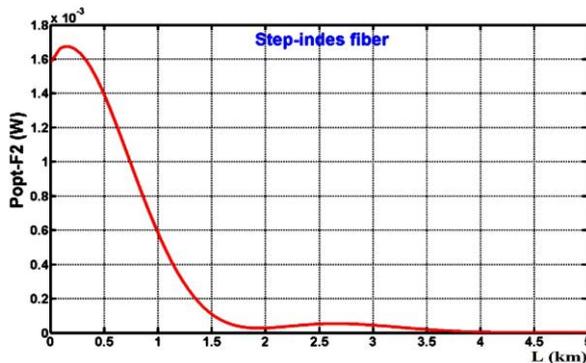


Fig. 9: Variation de la puissance optique en fonction de la longueur d'une fibre optique à saut d'indice

4. CONCLUSION

Nous avons étudié dans cet article, les modèles VHDL-AMS d'une fibre optique multimode à saut d'indice, en prenant en compte les perturbations dues à l'atténuation du signal lumineux, à la dispersion modale et chromatique. La fibre optique à saut d'indice peut être utilisée dans des systèmes de communication de courte distance et des applications dans les systèmes appliqués aux énergies renouvelables.

REFERENCES

- [1] Y. Hervé, '*VHDL-AMS Application et Enjeux Industriels*', Dunod Editeur, Paris 2002.
- [2] J. Rouillard, '*Ecrire et Comprendre VHDL-AMS*', USA 2008.
- [3] A. Sorin-Huss, '*Model Engineering In Mixed-Signal Circuit Design*', Netherland 2001.
- [4] P. Degreys, M. Karray, S. Snaidero, Y. Hervé and J. Oudinot, '*SoC Modelling for Virtual Prototyping with VHDL-AMS*'; Conf/ fdl/Hosk 04, pp. 168 -180, Lille 2004.
- [5] FZ. Baouche, F. Hobar and Y. Hervé, '*High Level Modeling in Optoelectronic Systems: Transmission Line Application*', International Journal of Advances in Engineering and Technology, IJAET2013, Vol. 6, N°1, pp. 392 - 404, 2013.
- [6] G. Yabre, '*Comprehensive Theory of Dispersion in Graded-Index Optical Fibers*', Journal of Lightwave Technology, Vol. 18, N°2, pp. 166 – 177, 2000.
- [7] J. Blanc, T. Mrim – Montauban, '*La Fibre Optique*', Technologie, Sept. 2007.
- [8] M. Ouertani, '*Fibres Optiques*', Département Architecture des Systèmes et des Réseaux ISI, 2008/2009.
- [9] Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, '*Transmissions en Optoélectronique*', Master 1, SPI – UFR des Sciences de Versailles 2010 - 2011.
- [10] Cours sur les Transmissions, '*Transmission des Télécommunications*', Cours B11, Chapitre 5, Partie 2, CNAM, France.
- [11] Liu An-Jin, Qu Hong-Wei, Chen Wei, Jiang Bin, Zhou Wen-Jun, Xing Ming-Xin and Zheng Wan-Hua, '*Graded Index Profiles and Loss-Induced Single-Mode Characteristics in Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers with Petal-Shape Holey Structure*', Chinese Physics B, Vol. 20, N°2, pp. 024204-1/-8, 2011.