

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication : 2 985 122

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : 11 62347

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : H 04 B 10/516 (2013.01), G 02 F 1/01

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 22.12.11.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 28.06.13 Bulletin 13/26.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES — FR.

⑦2 Inventeur(s) : BENINCA DE FARIAS GIOVANNI et  
MENEZO SYLVIE.

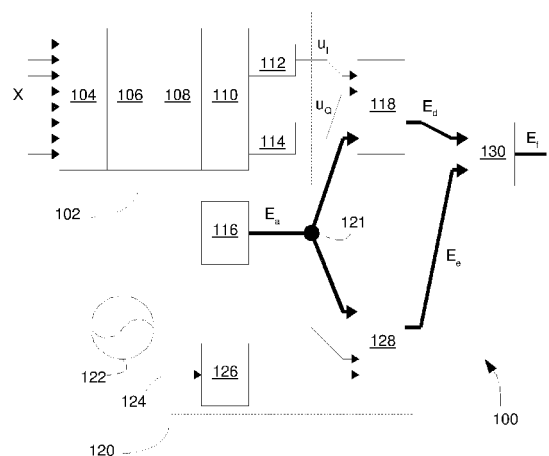
⑦3 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BONNET.

⑤4 EMETTEUR OPTIQUE ET PROCEDE D'EMISSION OPTIQUE.

⑤7 Cet émetteur optique, comporte: - un laser (116) destiné à fournir une porteuse optique noté  $E_a$  à une fréquence notée  $f_{opt}$ ; - un modulateur électro-optique principal (118) destiné à moduler la porteuse optique  $E_a$  en fonction de signaux électriques notés respectivement  $u_i$  et  $u_o$ , pour fournir un signal optique notée  $E_d$ ; - un dispositif électro-optique (120) destiné à fournir une porteuse optique noté  $E_e$  de fréquence notée  $f_e$  différente de la fréquence  $f_{opt}$  de la porteuse optique  $E_a$  fournie par le laser (116); et - un sommateur optique (130) destiné à sommer le signal optique  $E_d$  et la porteuse optique  $E_e$ , pour fournir un signal optique noté  $E_r$  destiné à être émis par l'émetteur optique.

Le dispositif électro-optique (120) est conçu pour fournir la porteuse optique  $E_e$  à partir de la porteuse optique  $E_a$  fournie par le laser (116).



FR 2 985 122 - A1



La présente invention concerne un émetteur optique et un procédé d'émission optique.

L'article intitulé «*Low sample rate transmitter for direct-detection optical OFDM*», de B. Schmidt et al, publié à l'occasion de l'Optical Fiber Communication Conference, San Diego, California (US), 22-26 mars 2009, décrit un émetteur optique comportant tout d'abord un modulateur OFDM destiné à fournir un signal électrique complexe correspondant à l'information à émettre (appelé par la suite signal électrique d'information), sous la forme de deux signaux électriques représentant respectivement la partie réelle et la partie imaginaire du signal électrique complexe. L'émetteur optique comporte en outre un oscillateur électrique fournissant un signal électrique de fréquence  $f_c$  (appelé par la suite signal électrique d'oscillateur) ajouté, d'une part, tel quel à la partie réelle du signal électrique d'information et, d'autre part, après un déphasage, à la partie imaginaire du signal électrique d'information, de manière à obtenir un signal électrique comportant à la fois le signal électrique d'information et le signal électrique d'oscillateur. L'émetteur optique comporte en outre un laser, ainsi qu'un modulateur électro-optique dit « IQ » (permettant une modulation complexe de la porteuse optique) destiné à moduler, par ce signal électrique, la porteuse optique fournie par le laser.

Cette structure permet d'obtenir, en sortie du modulateur, un signal optique comportant :

- une nouvelle porteuse optique de référence servant à la démodulation du signal émis et présentant une fréquence décalée par rapport à la fréquence  $f_{opt}$  de la porteuse optique initiale, le décalage correspondant à la fréquence  $f_c$ ,
- le signal électrique transposé dans le domaine optique et porté par la porteuse optique du laser de fréquence  $f_{opt}$ .

Lorsque le décalage est fixé à au moins une fois et demi la bande passante du signal électrique d'information, il permet d'éviter, lors de la démodulation, l'introduction de bruit provenant de l'Interférence de Battement Signal-à-Signal (en anglais : « Signal-to-Signal Beating Interference » ou SSBi).

Cependant, l'émetteur optique décrit dans ce document présente comme inconvénient de nécessiter de fournir au modulateur à la fois le signal électrique complexe d'information et le signal électrique d'oscillateur, de sorte que le modulateur reçoit la puissance de ces deux signaux. Or, pour un bon fonctionnement

de l'émetteur optique, le modulateur doit fonctionner en régime linéaire, ce qui n'est possible que si la puissance qu'il reçoit ne dépasse pas une certaine limite. Ainsi, l'introduction du signal électrique d'oscillateur limite la puissance que peut présenter le signal complexe d'information.

5 L'article intitulé « *64/32/16QAM-OFDM using Direct-Detection for 40G-OFDMA-PON Downstream* », de D. Qian et al, publié à l'occasion de l'Optical Fiber Communication Conference, Los Angeles, California (US), 6 mars 2011, décrit un émetteur optique comportant tout d'abord un modulateur OFDM (désigné AWG 7122B) destiné à fournir un signal électrique complexe correspondant à l'information  
10 à émettre (appelé par la suite signal électrique d'information), sous la forme de deux signaux électriques représentant respectivement la partie réelle et la partie imaginaire du signal électrique complexe. L'émetteur optique comporte en outre un premier laser et un modulateur electro-optique dit « IQ » destiné à moduler, par le signal électrique complexe, la porteuse optique de fréquence  $f_{opt}$  (appelé par la suite  
15 porteuse initiale) fourni par le premier laser, de manière à obtenir un signal optique modulé (appelé par la suite porteuse initiale modulée). L'émetteur optique comporte en outre un second laser destiné à fournir une porteuse optique de fréquence différente de la fréquence  $f_{opt}$  (appelé par la suite porteuse de référence), cette porteuse de référence étant ajoutée à la porteuse initiale modulée.

20 Cette structure permet à nouveau d'obtenir un signal optique émis comportant :

- la porteuse optique de référence servant à la démodulation du signal émis et présentant une fréquence décalée par rapport à la fréquence  $f_{opt}$  de la porteuse optique initiale, le décalage correspondant à une fréquence  $f_c$ ,
- 25 - le signal électrique transposé dans le domaine optique et porté par la porteuse optique de fréquence  $f_{opt}$ .

En outre, comme seul le signal électrique d'information est fourni au modulateur, il est possible de mettre davantage de puissance dans ce signal électrique d'information (relativement au système de l'article précédent, dans lequel  
30 le modulateur électrique voit, en plus de la puissance du signal électrique d'information, la puissance de la porteuse RF de référence).

Cependant, l'émetteur optique décrit précédemment présente comme inconvénient de nécessiter deux lasers. Pour assurer un bon fonctionnement de l'émetteur optique, ces deux lasers doivent fournir des porteuses optiques

cohérentes et leur différence de fréquences doit rester très stable dans le temps. Or, pour obtenir ces deux conditions, il est nécessaire d'utiliser des composants complexes et chers.

Ainsi, il peut être souhaité de disposer d'un émetteur optique capable d'émettre, en plus de la porteuse initiale modulée, une porteuse de référence décalée en fréquence par rapport à la porteuse initiale, tout en restant relativement simple et bon marché.

A cet effet, il est proposé un émetteur optique comportant :

- 10 - un laser destiné à fournir une porteuse optique notée  $E_a$  à une fréquence notée  $f_{opt}$ ,
- un modulateur électro-optique principal destiné à moduler la porteuse optique  $E_a$  en fonction de signaux électriques notés respectivement  $u_I$  et  $u_Q$ , pour fournir un signal optique noté  $E_d$ ,
- 15 - un dispositif électro-optique destiné à fournir une porteuse optique notée  $E_e$  de fréquence notée  $f_e$  différente de la fréquence  $f_{opt}$  de la porteuse optique  $E_a$  fournie par le laser, et
- un sommateur optique destiné à sommer le signal optique  $E_d$  et la porteuse optique  $E_e$ , pour fournir un signal optique noté  $E_f$  destiné à être émis par l'émetteur optique,

20 le dispositif électro-optique étant conçu pour fournir la porteuse optique  $E_e$  à partir de la porteuse optique  $E_a$  fournie par le laser.

De façon optionnelle, le dispositif électro-optique comporte :

- 25 - un oscillateur électrique destiné à fournir un signal électrique noté  $E_{RF}$  de fréquence notée  $f_{RF}$ , et
- un dispositif de décalage de fréquence destiné à fournir la porteuse optique  $E_e$  à partir de la porteuse optique  $E_a$  et du signal électrique  $E_{RF}$  de manière que la fréquence  $f_e$  soit égale à la fréquence  $f_{opt}$  décalée, en positif ou en négatif, de la fréquence  $f_{RF}$ .

De façon optionnelle, le dispositif de décalage de fréquence comporte :

- 30 - un déphaseur destiné à déphaser le signal électrique  $E_{RF}$  de  $\pi/2$ , pour fournir un signal électrique noté  $E'_{RF}$ , et
- un modulateur électro-optique auxiliaire destiné à moduler la porteuse optique  $E_a$  en fonction des signaux électriques  $E_{RF}$  et  $E'_{RF}$  de manière à

4

ajouter ou soustraire la fréquence  $f_{RF}$  à la fréquence  $f_{opt}$ , pour fournir la porteuse optique  $E_e$ .

De façon optionnelle, le modulateur électro-optique auxiliaire est destiné à moduler la la porteuse optique  $E_a$  en fonction des signaux électriques  $E_{RF}$  et  $E'_{RF}$  de  
5 manière à ajouter la fréquence  $f_{RF}$  à la fréquence  $f_{opt}$ , pour fournir la porteuse optique  $E_e$ .

De façon optionnelle, le dispositif de décalage de fréquence comporte :

- un modulateur de phase optique destiné à fournir un signal optique comportant plusieurs porteuses optiques, à partir, d'une part, du signal  
10 électrique  $E_{RF}$  de fréquence  $f_{RF}$  fourni par l'oscillateur électrique et, d'autre part, de la porteuse optique  $E_a$  de fréquence  $f_{opt}$  fournie par le laser,
- un filtre optique destiné à filtrer le signal optique fourni par le modulateur de phase optique de manière à isoler l'une des porteuses optiques de fréquence différente de la fréquence  $f_{opt}$ , afin de fournir la porteuse optique  
15  $E_e$ .

De façon optionnelle, l'émetteur optique comporte en outre un modulateur électrique destiné à fournir les signaux électriques  $u_I$  et  $u_Q$  à partir d'un signal électrique numérique noté  $X$  représentant de l'information à émettre par l'émetteur optique.

20 De façon optionnelle, les signaux électriques  $u_I$  et  $u_Q$  correspondent respectivement à la partie réelle et à la partie imaginaire d'un signal d'information  $u$  présentant une bande passante notée  $B_S$ , et la fréquence  $f_{RF}$  est égale à au moins 0,5 fois la bande passante  $B_S$ , de préférence au moins 1,5 fois la bande passante  $B_S$ , et avantageusement 1,5 fois la bande passante.

25 De façon optionnelle, le modulateur électrique comporte un modulateur d'amplitude en quadrature.

Il est également proposé un procédé d'émission optique, comportant :

- fournir une porteuse optique noté  $E_a$  à une fréquence notée  $f_{opt}$ ,
- moduler la porteuse optique  $E_a$  en fonction de signaux électriques notés  
30 respectivement  $u_I$  et  $u_Q$ , pour fournir un signal optique noté  $E_d$ ,
- fournir une porteuse optique noté  $E_e$  de fréquence notée  $f_e$  différente de la fréquence  $f_{opt}$  de la porteuse optique  $E_a$ , et
- sommer le signal optique  $E_d$  et la porteuse optique  $E_e$ , pour fournir un signal optique noté  $E_f$  destiné à être émis par l'émetteur optique,

5

la porteuse optique  $E_e$  étant fournie à partir de la porteuse optique  $E_a$ .

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- 5 - la figure 1 représente schématiquement la structure générale d'un émetteur optique selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 représente schématiquement la structure générale d'un modulateur électro-optique dit « IQ » de l'émetteur optique de la figure 1,
- la figure 3 illustre les étapes successives d'un procédé d'émission optique  
10 selon un mode de réalisation de l'invention, mis en œuvre par l'émetteur de la figure 1, et
- la figure 4 représente schématiquement un dispositif électro-optique de l'émetteur optique de la figure 1 comportant une variante de réalisation d'un dispositif de décalage de fréquence.

15 Sur les figures 1 et 2, les signaux électriques sont représentés en traits fins tandis que les signaux optiques sont représentés en traits épais.

En référence à la figure 1, un émetteur optique 100 selon un mode de réalisation de l'invention va à présent être décrit.

L'émetteur optique 100 comporte tout d'abord un modulateur électrique 102  
20 destiné à fournir des signaux électriques  $u_i$  et  $u_q$  à partir d'un signal électrique numérique noté  $X$  représentant de l'information à émettre par l'émetteur optique 100. Les signaux électriques  $u_i$  et  $u_q$  forment un signal électrique d'information OFDM de bande de base, noté  $u(t)$ , et qui s'écrit, en notation complexe :  $u(t) = u_i(t) + j.u_q(t)$ .

Dans l'exemple décrit, le modulateur électrique 102 comporte tout d'abord un  
25 modulateur QAM 104 (de l'anglais « Quadrature Amplitude Modulation », c'est-à-dire modulation d'amplitude en quadrature), destiné à déterminer, pour chaque bloc d'un certain nombre de valeurs successives du signal électronique numérique  $X$ , le symbole - un nombre complexe - associé.

Le modulateur électrique 102 comporte en outre un bloc IFFT 106 (de  
30 l'anglais « Inverse Fast Fourier Transform », c'est-à-dire transformée inverse de Fourier rapide), destiné à calculer la transformée inverse de Fourier rapide de chaque symbole et à fournir la série des nombres complexes de cette IFFT en parallèle.

Le modulateur électrique 102 comporte en outre un bloc d'ajout d'un préfixe cyclique 108 à la série parallèle des nombres complexes de l'IFFT.

Le modulateur électrique 102 comporte en outre un convertisseur parallèle/série 110, destiné à fournir dans une séquence temporelle les nombres complexes de la série des nombres complexes de l'IFFT et du préfixe cyclique.

Le modulateur électrique 102 comporte en outre deux convertisseurs numérique/analogique 112, 114, destinés à convertir respectivement la partie réelle et la partie complexe des nombres de la séquence temporelle en valeurs analogiques formant respectivement les signaux électriques  $u_I$  et  $u_Q$ . Le signal électrique  $u(t)$  présente une bande passante notée  $B_S$  et une puissance notée  $P_U$ .

L'émetteur optique 100 comporte en outre un laser 116 destiné à fournir une porteuse optique noté  $E_a$  à une fréquence notée  $f_{opt}$ . Dans l'exemple décrit, la porteuse optique  $E_a$  est une porteuse optique de lumière continue. La porteuse optique  $E_a$  s'écrit, en notation complexe :

$$E_a(t) = \sqrt{P_{laser}} e^{j2\pi f_{opt} t}$$

où  $P_{laser}$  est la puissance du laser.

L'émetteur optique 100 comporte en outre un modulateur électro-optique principal 118 dit « IQ » destiné à moduler la porteuse optique  $E_a$  en fonction des signaux électriques  $u_I$  et  $u_Q$ , pour fournir un signal optique noté  $E_d$ . Dans l'exemple décrit, l'amplitude et la phase du signal optique  $E_a$  sont modulées. Le modulateur électro-optique principal 118 sera décrit plus en détail en référence à la figure 2.

L'émetteur optique 100 comporte en outre un dispositif électro-optique 120 destiné à fournir, à partir de la porteuse optique  $E_a$  fournie par le laser 116, une porteuse optique noté  $E_e$  de fréquence notée  $f_e$  différente de la fréquence  $f_{opt}$  de la porteuse optique  $E_a$  fournie par le laser 116.

Afin de fournir la porteuse optique  $E_a$  du laser 116 au modulateur électro-optique principal 118 et au dispositif électro-optique 120, l'émetteur optique 100 comporte un séparateur optique 121, présentant des pertes de séparation. Dans l'émetteur optique 100, des pertes sont présentes au niveau de chaque sommateur ou séparateur de lumière. Ces pertes sont supposées identiques pour chacun de ces éléments, et notées SL.

Dans l'exemple décrit, le dispositif électro-optique 120 comporte tout d'abord un oscillateur électrique 122 destiné à fournir un signal électrique noté  $E_{RF}$  de

7

fréquence notée  $f_{RF}$ . La fréquence  $f_{RF}$  vaut de préférence au moins 0,5 fois la bande passante  $B_S$ , de préférence au moins 1,5 fois la bande passante  $B_S$  et avantageusement 1,5 fois la bande passante.

Le signal électrique  $E_{RF}$  s'écrit :

$$5 \quad E_{RF} = \beta_{RF} \frac{2V_n}{\pi} \cos(2\pi f_{RF} t)$$

où  $\beta_{RF}$  est un facteur de gain et  $V_n$  est une grandeur qui sera définie plus loin.

Le dispositif électro-optique 120 comporte en outre un dispositif de décalage de fréquence 124 destiné à fournir la porteuse optique  $E_e$  à partir de la porteuse optique  $E_a$  et du signal électrique  $E_{RF}$  de manière que la fréquence  $f_e$  soit égale à la  
10 fréquence  $f_{opt}$  décalée, en positif ou en négatif, de la fréquence  $f_{RF}$ .

Dans l'exemple décrit, le dispositif de décalage de fréquence 124 comporte tout d'abord un déphaseur électrique 126 destiné à déphaser le signal électrique  $E_{RF}$  de  $\pi/2$ , pour fournir un signal électrique noté  $E'_{RF}$ .

Le dispositif de décalage de fréquence 124 comporte en outre un modulateur  
15 électro-optique auxiliaire 128 destiné à moduler la phase de la porteuse optique  $E_a$  en fonction des signaux électriques  $E_{RF}$  et  $E'_{RF}$  de manière à ajouter ou soustraire la fréquence  $f_{RF}$  à la fréquence  $f_{opt}$ , pour fournir le signal optique  $E_e$ .

L'émetteur optique 100 comporte en outre un sommateur optique 130 destiné à sommer le signal optique  $E_d$  et la porteuse optique  $E_e$ , pour fournir un signal  
20 optique noté  $E_f$  destiné à être émis par l'émetteur optique 100. Le signal optique  $E_f$  est par exemple destiné à être fourni à une fibre optique de transport du signal.

En référence à la figure 2, le modulateur électro-optique dit « IQ » principal 118 va être décrit plus en détail.

Le modulateur électro-optique principal dit « IQ » 118 comporte tout d'abord  
25 des premier et second modulateurs Mach Zehnder 202, 204. Un modulateur Mach Zehnder est un dispositif connu en soi qui divise un signal optique reçu en deux branches présentant respectivement deux électrodes entre lesquelles un signal électrique est destiné à être appliqué pour moduler le signal optique. Chaque modulateur reçoit la porteuse optique  $E_a$ , atténuée d'un facteur SL en puissance.

30 Les électrodes du premier modulateur Mach Zehnder 202 sont destinées à recevoir le signal électrique  $u_i$ , tandis que les électrodes du second modulateur Mach Zehnder 204 sont destinées à recevoir le signal électrique  $u_Q$ .

8

Le modulateur électro-optique dit « IQ » principal 118 comporte en outre un déphaseur optique 206 destiné à déphaser le signal optique sortant du second modulateur Mach Zehnder de  $\pi/2$ .

Le modulateur électro-optique dit « IQ » principal 118 comporte en outre un  
5 sommateur optique 208 auquel le signal optique modulé sortant du premier modulateur Mach Zehnder et le signal optique modulé sortant du déphaseur arrivent, et duquel le signal optique  $E_d$  sort.

Chaque modulateur Mach Zehnder 202, 204 présente les caractéristiques  
10 suivantes : une tension de déphasage de  $\pi$  (tension nécessaire entre les deux branches pour déphaser de  $\pi$  le signal optique), notée  $V_\pi$ , des pertes de séparation (« splitter losses » en anglais), notées  $SL$ , et des pertes d'excès (« excess losses » en anglais), notées  $EL$ . Les premier et second modulateurs Mach Zehnder 202, 204 sont identiques de sorte qu'ils présentent les mêmes caractéristiques.

Dans ces conditions, le signal optique  $E_d$  s'écrit, en notation complexe :

$$15 \quad E_d(t) = \sqrt{SL} \cdot \sqrt{P_{laser}} \cdot e^{j2\pi f_{opt} t} \cdot 2SL^2 \cdot \sqrt{EL} \cdot \frac{\pi}{2V_\pi} \cdot u(t)$$

Le signal optique  $E_d$  présente une puissance, notée  $P_d$ , qui s'écrit, en notation complexe :

$$P_d = 4P_{laser} SL^5 EL \left( \frac{\pi}{2V_\pi} \right)^2 P_u$$

Le modulateur optique auxiliaire 128 est identique au modulateur électro-  
20 optique principal 118.

Ainsi, le signal optique  $E_e$  s'écrit, en notation complexe :

$$E_e(t) = \sqrt{SL} \sqrt{P_{laser}} 2SL^2 \sqrt{EL} \beta_{RF} e^{j2\pi t(f_{opt} + f_{RF})}$$

Le signal optique  $E_e$  présente une puissance, notée  $P_e$ , qui s'écrit :

$$P_e = 4P_{laser} SL^5 EL \beta_{RF}^2$$

25 Ainsi, le signal optique  $E_f$  fourni par l'émetteur optique 100 s'écrit, en notation complexe :

$$E_f(t) = \sqrt{P_{laser}} 2SL^3 \sqrt{EL} e^{j2\pi f_{opt} t} \left( \beta_{RF} e^{j2\pi f_{RF} t} + \frac{\pi}{2V_\pi} u(t) \right)$$

9

Le signal optique  $E_f$  présente une puissance, notée  $P_f$ , qui s'écrit :

$$P_f = P_{laser} SL^6 EL \left( \beta_{RF}^2 + \left( \frac{\pi}{V_\pi} \right)^2 P_u \right)$$

Un indice de modulation optique, noté OMI (de l'anglais « Optical Modulation Index »), est défini à partir de la puissance  $P_u$  de la manière suivante :

5 
$$OMI = \frac{\sqrt{P_u}}{V_\pi}$$

Généralement, l'émetteur optique est dimensionné pour que le rapport de puissance signal sur porteur, noté CSPR (de l'anglais « Carrier to Signal Power Ratio »), atteigne une valeur cible, notée  $CSPR_t$ .

Le rapport CSPR, pour l'émetteur optique 100 décrit, s'écrit :

10 
$$CSPR = \frac{\left( \beta_{RF} \frac{2V_\pi}{\pi} \right)^2}{P_u}$$

Ainsi, pour atteindre la valeur cible  $CSPR_t$ , le facteur de gain  $\beta_{RF}$  est choisi pour vérifier :

$$\beta_{RF} = \frac{\pi}{2} OMI \sqrt{CSPR_t}$$

15 De cette manière, la puissance  $P_f$  du signal optique  $E_f$  en sortie de l'émetteur optique peut s'exprimer de la manière suivante :

$$P_f = P_{laser} SL^6 EL P_u \left( \frac{\pi}{V_\pi} \right)^2 (CSPR_t + 1)$$

En référence à la figure 3, un procédé d'émission optique 300 selon l'invention mis en œuvre par l'émetteur optique 100 de la figure 1 va à présent être décrit.

20 Au cours d'une étape 302, le modulateur électrique 102 reçoit le signal électrique X et fournit à partir de ce dernier les signaux électriques  $u_i$  et  $u_Q$ .

Au cours d'une étape 304, le laser 116 fournit la porteuse optique  $E_a$ .

10

Au cours d'une étape 306, le modulateur électro-optique dit « IQ » principal 118 fournit le signal optique  $E_d$  à partir de la porteuse optique  $E_a$  et des signaux électriques  $u_I$  et  $u_Q$ .

5 Au cours d'une étape 308, parallèlement à l'étape 306, le dispositif électro-optique 120 fournit la porteuse optique  $E_e$  à partir de la porteuse optique  $E_a$  fournie par le laser 116. Comme expliqué précédemment, la fréquence du signal optique  $E_e$  correspond à la fréquence du signal optique  $E_a$  décalée de la fréquence  $f_{RF}$ . Dans l'exemple décrit, la fréquence de la porteuse optique  $E_e$  est égale à la somme de la fréquence de la porteuse optique  $E_a$  et de la fréquence  $f_{RF}$ .

10 Au cours d'une étape 310, le sommateur optique 130 fournit le signal optique  $E_f$  correspondant à la somme des signaux optiques  $E_d$  et  $E_e$ .

En référence à la figure 4, une variante de réalisation du modulateur électro-optique dit « IQ » principal 118 va être décrite.

15 Dans cette variante, le modulateur électro-optique dit « IQ » principal 118 comporte tout d'abord un modulateur de phase optique 402 destiné à fournir un signal optique comportant plusieurs porteuses optiques, à partir, d'une part, du signal électrique  $E_{RF}$  de fréquence  $f_{RF}$  fourni par l'oscillateur électrique 122 et, d'autre part, de la porteuse optique  $E_a$  de fréquence  $f_{opt}$ . Dans l'exemple décrit, les porteuses optiques fournies par le modulateur de phase optique 402 sont séparées en  
20 fréquence d'un pas fréquentiel constant et la fréquence de l'une d'elles correspond à la fréquence  $f_{opt}$  de la porteuse optique  $E_a$ . Dans l'exemple décrit, les porteuses optiques fournies par le modulateur de phase optique 402 sont en outre centrées en fréquence sur la porteuse optique  $E_a$ . Ainsi, les porteuses optiques fournies par le modulateur de phase optique 402 peuvent s'écrire :

25 
$$f_{opt}(n) = f_{opt} + n \times f_{RF}$$

$n$  variant de  $-N/2$  à  $N/2$ , avec  $N$  le nombre de porteuses optiques fournies par le modulateur de phase optique 402 et  $f_{opt}(n)$  la fréquence de la  $n^{ième}$  porteuse optique.

30 Le modulateur électro-optique dit « IQ » principal 118 comporte en outre un filtre optique 404 destiné à filtrer le signal optique fourni par le modulateur de phase optique 402 de manière à isoler l'une des porteuses optiques de fréquence différente de la fréquence  $f_{opt}$ , afin de fournir la porteuse optique  $E_e$ . De préférence, le filtre optique 404 est destiné à isoler l'une des deux porteuses optiques dont les fréquences sont décalées de la fréquence  $f_{opt}$  de plus ou moins  $f_{RF}$ , c'est-à-dire les

fréquences  $f_{\text{opt}}(1) = f_{\text{opt}} + f_{\text{RF}}$  et  $f_{\text{opt}}(-1) = f_{\text{opt}} - f_{\text{RF}}$ . Dans l'exemple décrit, le filtre optique 404 est destiné à isoler la porteuse optique de fréquence  $f_{\text{opt}}(1) = f_{\text{opt}} + f_{\text{RF}}$ .

Il apparaît clairement qu'un émetteur optique tel que celui décrit précédemment permet d'émettre de manière simple et bon marché, en plus de la  
5 porteuse initiale modulée (le signal optique  $E_d$ ), une porteuse de référence (la porteuse optique  $E_e$ ) décalée en fréquence par rapport à la porteuse initiale.

On notera par ailleurs que l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation décrit précédemment. Il apparaîtra en effet à l'homme de l'art que diverses modifications peuvent y être apportées, à la lumière de l'enseignement qui vient de  
10 lui être divulgué.

En particulier, l'ensemble des éléments 124, 116, 118 et 130 de l'émetteur optique 100 décrit précédemment peut être réalisé de façon intégrée sur une unique puce en photonique Silicium (de l'anglais « silicon photonics »).

Dans les revendications qui suivent, les termes utilisés ne doivent pas être  
15 interprétés comme limitant les revendications au mode de réalisation exposé dans la présente description, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents que les revendications visent à couvrir du fait de leur formulation et dont la prévision est à la portée de l'homme de l'art en appliquant ses connaissances générales à la mise en œuvre de l'enseignement qui vient de lui être divulgué.

12  
REVENDICATIONS

1. Émetteur optique, comportant :
- 5 - un laser (116) destiné à fournir une porteuse optique notée  $E_a$  à une fréquence notée  $f_{opt}$ ,
  - un modulateur électro-optique principal (118) destiné à moduler la porteuse optique  $E_a$  en fonction de signaux électriques notés respectivement  $u_i$  et  $u_Q$ , pour fournir un signal optique noté  $E_d$ ,
  - 10 - un dispositif électro-optique (120) destiné à fournir une porteuse optique notée  $E_e$  de fréquence notée  $f_e$  différente de la fréquence  $f_{opt}$  de la porteuse optique  $E_a$  fournie par le laser, et
  - un sommateur optique (130) destiné à sommer le signal optique  $E_d$  et la porteuse optique  $E_e$ , pour fournir un signal optique noté  $E_f$  destiné à être émis par l'émetteur optique,
- 15 l'émetteur optique étant caractérisé en ce que le dispositif électro-optique (120) est conçu pour fournir la porteuse optique  $E_e$  à partir de la porteuse optique  $E_a$  fournie par le laser (116).
2. Émetteur optique selon la revendication 1, dans lequel le dispositif électro-optique (120) comporte :
- 20 - un oscillateur électrique (122) destiné à fournir un signal électrique noté  $E_{RF}$  de fréquence notée  $f_{RF}$ , et
  - un dispositif de décalage de fréquence (124) destiné à fournir la porteuse optique  $E_e$  à partir de la porteuse optique  $E_a$  et du signal électrique  $E_{RF}$  de manière que la fréquence  $f_e$  soit égale à la
  - 25 fréquence  $f_{opt}$  décalée, en positif ou en négatif, de la fréquence  $f_{RF}$ .
3. Émetteur optique selon la revendication 2, dans lequel le dispositif de décalage de fréquence (124) comporte :
- un déphaseur (126) destiné à déphaser le signal électrique  $E_{RF}$  de  $\pi/2$ , pour fournir un signal électrique noté  $E'_{RF}$ , et
  - 30 - un modulateur électro-optique auxiliaire (128) destiné à moduler la porteuse optique  $E_a$  en fonction des signaux électriques  $E_{RF}$  et  $E'_{RF}$  de manière à ajouter ou soustraire la fréquence  $f_{RF}$  à la fréquence  $f_{opt}$ , pour fournir la porteuse optique  $E_e$ .

4. Émetteur optique selon la revendication 3, dans lequel le modulateur électro-optique auxiliaire (128) est destiné à moduler la porteuse optique  $E_a$  en fonction des signaux électriques  $E_{RF}$  et  $E'_{RF}$  de manière à ajouter la fréquence  $f_{RF}$  à la fréquence  $f_{opt}$ , pour fournir la porteuse optique  $E_e$ .

5 5. Émetteur optique selon la revendication 2, dans lequel le dispositif de décalage de fréquence (124) comporte :

- un modulateur de phase optique (402) destiné à fournir un signal optique comportant plusieurs porteuses optiques, à partir, d'une part, du signal électrique  $E_{RF}$  de fréquence  $f_{RF}$  fourni par l'oscillateur électrique (122) et, d'autre part, de la porteuse optique  $E_a$  de fréquence  $f_{opt}$  fournie par le laser (116),
- un filtre optique (404) destiné à filtrer le signal optique fourni par le modulateur de phase optique (402) de manière à isoler l'une des porteuses optiques de fréquence différente de la fréquence  $f_{opt}$ , afin de fournir la porteuse optique  $E_e$ .

6. Émetteur optique selon l'une des revendications 1 à 5, comportant en outre un modulateur électrique (102) destiné à fournir les signaux électriques  $u_I$  et  $u_Q$  à partir d'un signal électrique numérique noté  $X$  représentant de l'information à émettre par l'émetteur optique.

20 7. Émetteur optique selon la revendication 6 et l'une des revendications 2 à 5, dans lequel les signaux électriques  $u_I$  et  $u_Q$  correspondent respectivement à la partie réelle et à la partie imaginaire d'un signal d'information  $u$  présentant une bande passante notée  $B_S$ , et dans lequel la fréquence  $f_{RF}$  est égale à au moins 0,5 fois la bande passante  $B_S$ , de préférence au moins 1,5 fois la bande passante  $B_S$ , et

25 avantageusement 1,5 fois la bande passante.

8. Émetteur optique selon la revendication 6 ou 7, dans lequel le modulateur électrique (102) comporte un modulateur d'amplitude en quadrature (104).

9. Procédé d'émission optique, comportant :

- fournir (304) une porteuse optique noté  $E_a$  à une fréquence notée  $f_{opt}$ ,
- 30 - moduler (306) la porteuse optique  $E_a$  en fonction de signaux électriques notés respectivement  $u_I$  et  $u_Q$ , pour fournir un signal optique noté  $E_d$ ,
- fournir (308) une porteuse optique noté  $E_e$  de fréquence notée  $f_e$  différente de la fréquence  $f_{opt}$  de la porteuse optique  $E_a$  fournie, et

14

- sommer (310) le signal optique  $E_d$  et la porteuse optique  $E_e$ , pour fournir un signal optique noté  $E_f$  destiné à être émis par l'émetteur optique,

le procédé d'émission optique étant caractérisé en ce que la porteuse optique  $E_e$  est  
5 fournie à partir de la porteuse optique  $E_a$ .

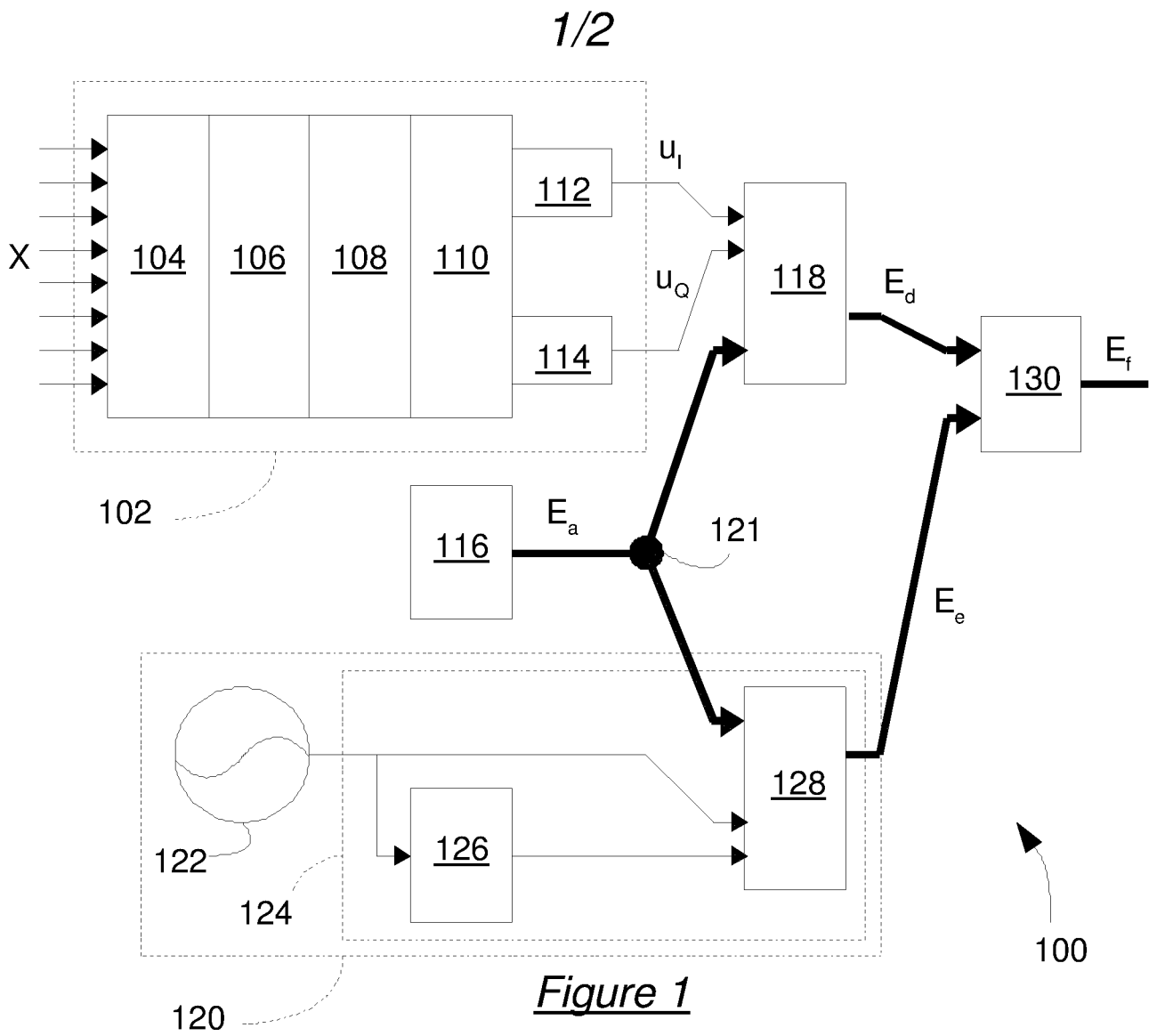


Figure 1

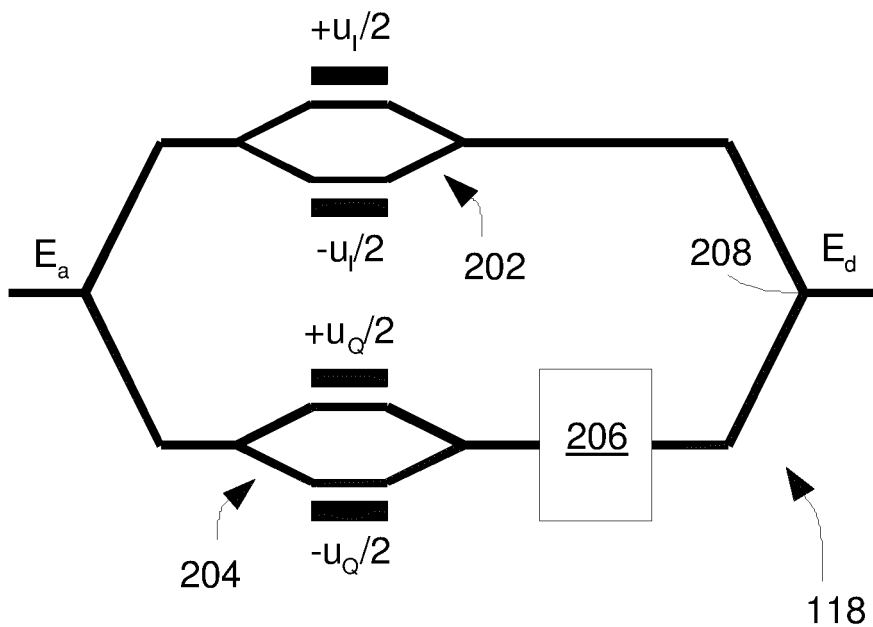
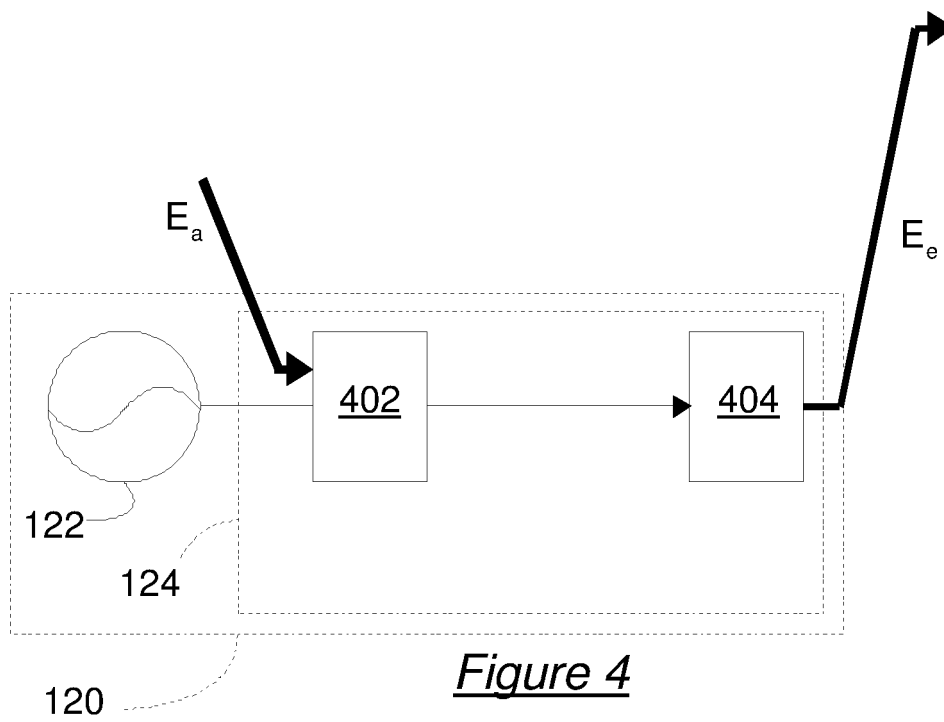
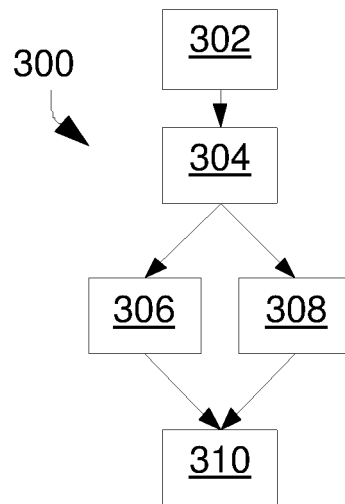


Figure 2

2/2

Figure 3Figure 4



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

FA 762670  
FR 1162347

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	SCHMIDT B ET AL: "120 Gbit/s Over 500-km Using Single-Band Polarization-Multiplexed Self-Coherent Optical OFDM", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 28, no. 4, 15 février 2010 (2010-02-15), pages 328-335, XP011296320, ISSN: 0733-8724 * le document en entier * -----	1-9	H04B10/04 G02F1/01
A,D	SCHMIDT B ET AL: "Low sample rate transmitter for direct-detection optical OFDM", OPTICAL FIBER COMMUNICATION - INCUDES POST DEADLINE PAPERS, 2009. OFC 2009. CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 22 mars 2009 (2009-03-22), pages 1-3, XP031468054, ISBN: 978-1-4244-2606-5 * le document en entier * -----	1-9	
A,D	DAYOU QIAN ET AL: "64/32/16QAM-OFDM using direct-detection for 40G-OFDMA-PON downstream", OPTICAL FIBER COMMUNICATION CONFERENCE, 2011. TECHNICAL DIGEST. OFC/NFOEC, IEEE, 6 mars 2011 (2011-03-06), pages 1-3, XP031946219, ISBN: 978-1-4577-0213-6 * le document en entier * -----	1-9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
31 août 2012		Petitit, Nicolas	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)