

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4608149号
(P4608149)

(45) 発行日 平成23年1月5日 (2011.1.5)

(24) 登録日 平成22年10月15日 (2010.10.15)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 M 11/00 (2006.01)

GO 1 M 11/00 T

GO 2 F 1/035 (2006.01)

GO 2 F 1/035

請求項の数 4 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2001-243816 (P2001-243816)	(73) 特許権者	000183266
(22) 出願日	平成13年8月10日 (2001.8.10)		住友大阪セメント株式会社
(65) 公開番号	特開2003-57615 (P2003-57615A)		東京都千代田区六番町6番地28
(43) 公開日	平成15年2月26日 (2003.2.26)	(74) 代理人	100098383
審査請求日	平成20年3月13日 (2008.3.13)		弁理士 杉村 純子
		(74) 代理人	100116687
			弁理士 田村 爾
		(72) 発明者	宮崎 徳一
			東京都千代田区六番町六番地28 住友大
			阪セメント株式会社内
		(72) 発明者	清水 亮
			東京都千代田区六番町6番地28 住友大
			阪セメント株式会社内
		審査官	西村 直史
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

マッハツェンダ型光変調器に、被測定周波数の高周波 A C 信号とモニタ用の低周波 A C 信号とを重畳して印加、又は両者を別々に構成された電極にそれぞれ印加し、該光変調器からの出力光の低速応答を観測することによりマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧を測定する方法において、

該高周波 A C 信号の電圧振幅を可変し、該モニタ用低周波 A C 信号による出力光の強度変化がほぼ 0 となる時の該高周波 A C 信号の電圧振幅を用いて、マッハツェンダ型光変調器の被測定周波数における半波長電圧を測定することを特徴とするマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法。

【請求項2】

請求項1に記載のマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法において、該モニタ用低周波 A C 信号による出力光の強度変化がほぼ 0 となる時の該高周波 A C 信号の電圧振幅のピークピーク電圧振幅値 V_{P-P} と、マッハツェンダ型光変調器の半波長電圧値 V_{π} との関係が、

式 $J_0(\pi V_{P-P} / (2 V_{\pi})) = 0$ (J_0 は 0 次のベッセル関数)

の関係を満足することを特徴とするマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法。

【請求項3】

請求項1に記載のマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法において、該モニタ用低周波 A C 信号による出力光の強度変化がほぼ 0 となる時の該高周波 A C 信号の電圧振幅

でピーク－ピーク電圧振幅値が最小となる値を V_{P-Pmin} とした場合に、マッハツェンダ型光変調器の半波長電圧値 V_{π} が、

$$\pi V_{P-Pmin} / (2 V_{\pi}) = 2.405$$

の関係を満足することを特徴とするマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法。

【請求項4】

請求項1乃至3のいずれかに記載のマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法を用いて、マッハツェンダ型光変調器の半波長電圧を測定可能としたことを特徴とするマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【発明の属する技術分野】

本発明は、マッハツェンダ型光変調器（以下、MZ型光変調器をいう）の半波長電圧（AC半波長電圧ともいう）の測定方法及び測定装置に関わり、特に高速、大容量光ファイバ通信に用いられる高周波変調に対応したMZ型光変調器の高周波における半波長電圧を測定するための測定方法及び測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

光変調器は、光通信における送信部などに用いられる主要な素子であり、特に、LiNbO₃（LN）を用いて製作されたMZ型光変調器は、近年の高速大容量光通信において、高速・広波長帯域・低チャープといった特徴から非常に多く使用されている。

20

MZ型光変調器1は、図1に示すように、電気光学効果を有する基板上に、光波を導波するための光導波路2と、前記光波にマイクロ波帯域の高速変調信号を印加するための電極（不図示）などによって構成される。MZ型光変調器の動作原理は、光導波路2の一端から入力された光が、途中で分岐されると共に信号源から印加された電気信号の電圧の大きさに依存して屈折率が変化した基板中を通過するため相互の光に速度差を生じ、分岐した光が合流した際には、相互に位相のずれが発生し、合成された光出力は、該電気信号に応じた強度変化を示すものである。

【0003】

図2は、MZ型光変調器1に印加される信号源3の入力電圧（V）変化に対する、光出力（I）変化を示すグラフであり、一般に、入力電圧Vが増加するに従い、光出力Iは一定の範囲を正弦波的に振動する曲線を描く。図2のように、光出力における最小点と最大点との間の入力電圧幅を半波長電圧 V_{π} と呼び、光通信における光変調器でON/OFFスイッチング制御を行う際に、光変調器に印加する電気信号の電圧値を決定する重要な数値である。

30

同じ光変調器であっても、半波長電圧は光変調器に印加される電気信号の周波数に応じて変化し、しかも、近年の光通信の高速・大容量化に伴い、光変調器の駆動周波数も高周波化し、10GHzやそれ以上の周波数においても正確な半波長電圧を測定することが要求されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

40

半波長電圧の測定方法としては、図3のように光出力を直接観察する測定方法（従来例1）や、米国特許第6,204,954号に示す図5のような光出力の平均出力値を用いる測定方法（従来例2）などがある。

従来例1では、図3に示すように、MZ型光変調器1にレーザ光源4からの光を入射すると共に、高周波AC信号31にバイアス用のDC電源32からのバイアス電圧をバイアスT33により重畳した電圧をMZ型光変調器1に印加する。そして、MZ型光変調器1から出射される光を、高速フォトディテクタ51により検出し、検出出力をサンプリングオシロスコープ52で観測することにより行われる。

従来例1の測定方法は、MZ型光変調器1の入力電圧Vと光出力Iとの関係（V-I特性）が、図4のグラフAに示すような場合、ピーク－ピーク電圧振幅値 V_{P-P} を持つ高周

50

波AC信号にバイアス電圧 V_B が重畳されて、グラフBのような入力電圧がMZ型光変調器1に印加されると、光出力はグラフCのようになり、このグラフCの波形はサンプリングオシロスコープ52で直接観察される。

そして、この直接観察を行いながら、グラフCのピークーピークの振幅幅が最大となるように、 V_{P-P} と V_B の電圧値を調整し、最大時の V_{P-P} を測定することで、MZ型光変調器1の半波長電圧 V_π が求められる($V_\pi = V_{P-P}$)。

しかしながら、従来例1の測定方法では、10GHzを超える高周波では、高速フォトディテクタ51など受光系の周波数特性の問題から、正確な光波形(図4のグラフC)を観察するのが困難である。このため、精密な半波長電圧の測定が出来ない。

【0005】

他方、従来例2では、図5に示すように、レーザ光が通過しているMZ型光変調器1に対して、高周波AC信号31にDC電源32からのバイアス電圧をバイアスT33により重畳した電圧を印加する。そして、MZ型光変調器1から出射される光を光カプラー53で分岐し、一方の光を光パワーメータ54に、他方の光をフォトディテクタ55により検出し、検出出力をスペクトラムアナライザ56に導入するように構成される。

従来例2の測定方法は、MZ型光変調器1の入力電圧Vと光出力Iとの関係(V-I特性)が、図6のグラフAに示すような場合、バイアス電圧 V_B をV-I特性のグラフAのピーク値を示す入力電圧となるように調整(バイアス点調整)し、バイアス電圧 V_B にピークーピーク電圧振幅値 V_{P-P} を有する高周波AC信号を重畳した場合(グラフB1)の光出力の平均出力値(グラフC1)や、高周波AC信号を付加しない場合(バイアス電圧 V_B のみ。グラフB2)の光出力値(グラフC2)、そして、高周波AC信号の V_{P-P} を各々測定する。そして、V-I特性が正弦関数になることを利用して、MZ型光変調器の半波長電圧 V_π を求めることができる。

従来例2の測定方法では、高周波において精密な半波長電圧が測定できるが、MZ型光変調器のバイアス点調整が必要であり、バイアス点変動が生じて光出力に揺らぎがある場合の正確な半波長電圧の測定が難しいという問題がある。また、半波長電圧の計算に用いるパラメータが多く、計算が煩雑となっている。

【0006】

本発明は、上記のような問題点を解決し、MZ型光変調器の半波長電圧の測定において、高周波においても精密な測定が可能で、該光変調器のバイアス点変動に依存せず、しかも計算に用いるパラメータも簡潔な測定方法及び装置を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、請求項1に係るマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法は、マッハツェンダ型光変調器に、被測定周波数の高周波AC信号とモニタ用の低周波AC信号とを重畳して印加、又は両者を別々に構成された電極にそれぞれ印加し、該光変調器からの出力光の低速応答を観測することによりマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧を測定する方法において、該高周波AC信号の電圧振幅を可変し、該モニタ用低周波AC信号による出力光の強度変化がほぼ0となる時の該高周波AC信号の電圧振幅を用いて、マッハツェンダ型光変調器の被測定周波数における半波長電圧を測定することを特徴とする。

【0008】

請求項2に係るマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法は、請求項1に記載のマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法において、該モニタ用低周波AC信号による出力光の強度変化がほぼ0となる時の該高周波AC信号の電圧振幅のピークーピーク電圧振幅値 V_{P-P} と、マッハツェンダ型光変調器の半波長電圧値 V_π との関係が、

$$\text{式 } J_0(\pi V_{P-P} / (2 V_\pi)) = 0 \quad (J_0 \text{ は } 0 \text{ 次のベッセル関数})$$

の関係を満足することを特徴とする。

【0009】

請求項3に係るマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法は、請求項1に記載のマ

10

20

30

40

50

マッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法において、該モニタ用低周波 A C 信号による出力光の強度変化がほぼ 0 となる時の該高周波 A C 信号の電圧振幅でピークーピーク電圧振幅値が最小となる値を V_{P-Pmin} とした場合に、マッハツェンダ型光変調器の半波長電圧値 V_{π} が、

$$\text{式 } \pi V_{P-Pmin} / (2 V_{\pi}) = 2.405$$

の関係を満足することを特徴とする。

【0010】

請求項 4 に係るマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定装置は、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法を用いて、マッハツェンダ型光変調器の半波長電圧を測定可能としたことを特徴とする。

10

【0011】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を好適例を用いて詳細に説明するが、本発明の範囲は、当該好適例に限定されるものではない。

本発明では、図 7 に示すように、M Z 型光変調器 1 に、被測定周波数の高周波 A C 信号 34 とモニタ用の低周波 A C 信号 35 を重畳して印加、又は図 9 に示すように、両者を別々に構成された電極（具体的には、R F 用信号電極とバイアスポート用接地電極）にそれぞれ印加し、光変調器の出力光の低速応答（低周波 A C 信号 35 に対応した変化）を、フォトディテクタ 57 とオシロスコープ 58 により観測し、この波形の観察に合わせて、高周波 A C 信号 34 の電圧振幅を調整することにより、M Z 型光変調器 1 の半波長電圧の測定

20

を可能とするものである。
本発明によれば、M Z 型光変調器に係る測定で問題となるバイアス点の調整・制御を行う必要が無く、しかも、非常に簡便に精密な半波長電圧の測定をすることが可能となる。

【0012】

本発明の測定原理について説明する。

高周波 A C 信号 34 による位相変化を Φ_1 、低周波 A C 信号 35 による位相変化を Φ_2 とすると、M Z 型光変調器 1 の光出力は、式 (1) で表される。ただし、 I_0 は光出力の最大値、 V_{P-P} は高周波 A C 信号 34 のピークーピーク電圧振幅値、 f は被測定周波数である高周波 A C 信号 34 の周波数、 V_{π} は被測定周波数 f での M Z 型光変調器 1 の半波長電圧を、各々意味する。

30

【数 1】

$$I = \frac{I_0}{2} [1 + \cos(\Phi_1 + \Phi_2)] \quad (1)$$

$$\Phi_1 = \frac{\pi V_{P-P}}{2 V_{\pi}} \sin(2\pi f t)$$

【0013】

次に、式 (1) の光出力 I に係る低速応答 I' は、高周波 A C 信号（周波数 f ）の時間平均をとることに相当し、式 (2) のように表すことができる。

40

【数 2】

$$\begin{aligned} I' &= f \int_0^{1/f} \frac{I_0}{2} [1 + \cos(\Phi_1 + \Phi_2)] dt \\ &= f \int_0^{1/f} \frac{I_0}{2} [1 + \cos \Phi_1 \cos \Phi_2 - \sin \Phi_1 \sin \Phi_2] dt \end{aligned} \quad (2)$$

50

【0014】

さらに、式(2)を級数展開して整理すると、式(3)のように表すことができる。

【数3】

$$\begin{aligned}
 I' &= f \int_0^{1/f} \frac{I_0}{2} \left[1 + \cos \left\{ \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \sin(2\pi f t) \right\} \cos \Phi_2 - \sin \left\{ \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \sin(2\pi f t) \right\} \sin \Phi_2 \right] dt \\
 &= f \int_0^{1/f} \frac{I_0}{2} \left[1 + \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \cos(2n \cdot 2\pi f t) J_{2n} \left\{ \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \right\} \cos \Phi_2 - \sum_{n=0}^{\infty} 2 \sin \{(2n+1)2\pi f t\} J_{2n+1} \left\{ \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \right\} \sin \Phi_2 \right] dt \\
 &= \frac{I_0}{2} \left[1 + J_0 \left(\frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \right) \cos \Phi_2 \right] \quad (3)
 \end{aligned}$$

10

$$\text{ただし } \varepsilon_n = \begin{cases} 1 & n=0 \\ 2 & n \neq 0 \end{cases}$$

【0015】

式(3)から、MZ型光変調器の光出力の低速応答 I' は、定数項、0次のベッセル関数と余弦関数の積で表される。ここでベッセル関数で表される量は、高周波AC信号34による出力変化であり、余弦関数で表される量は、低周波AC信号35による出力変化である。

20

今、ベッセル関数の項を0とするような電圧 V_{p-p} の高周波AC信号34を入力した場合、式(3)の第2項は0となり、いかなる低周波AC信号35を入力しても、光出力の低速応答 I' は $I_0/2$ となり、一定の光出力となる。この様子を示したのが図8(b)である。

つまり、MZ型光変調器1に加える高周波AC信号34の電圧振幅を連続的に変化させながら、MZ型光変調器1からの出力光の低速応答をオシロスコープ58により観測し、図8(a)のように低周波AC信号の影響で光出力が変動している状態が、図8(b)のように光出力が一定となった場合に、MZ型光変調器1に入力している高周波AC信号34の電圧 V_{p-p} を測定することにより、被測定周波数 f における半波長電圧 V_π を算出することができる。

30

【0016】

光出力の低速応答 I' が一定となった場合の V_{p-p} と V_π との関係は、式(3)のベッセル関数の項を0にする条件である

$$J_0(\pi V_{p-p} / (2V_\pi)) = 0 \quad (J_0 \text{ は } 0 \text{ 次のベッセル関数})$$

により、導出できる。

ただし、0次のベッセル関数が0となる条件は複数あるため、通常は必要な信号電圧が最小ですむ、最初に光出力が最小となるピークーピーク電圧振幅値 $V_{p-p \text{ min}}$ から、 $\pi V_{p-p \text{ min}} / (2V_\pi) = 2.405$ の関係を用いて半波長電圧値 V_π を算出する。

40

【0017】

本発明に係る実験の一例を図9、10に示す。

MZ型のLN光変調器11には、レーザ光源から発生された $1.55 \mu\text{m}$ のレーザ光を、偏波コントローラ42を通過させて偏波状態を調整して入射させる。

LN光変調器11には、被測定周波数 f の高周波AC信号とモニタ用の低周波AC信号を重畳して入力する。高周波AC信号の入力は、高周波信号発生器34-1からの高周波マイクロ波を高周波アンプ34-2により電圧振幅値を可変して、LN光変調器11の高周波用(RF)ポートに入力する。また、低周波AC信号の入力は、低周波信号発生器35-1から1kHzの正弦波をLN光変調器11のバイアス(BIAS)ポートに入力する。低周波AC信号の振幅電圧は半波長電圧の2倍以上に設定することで、常に光出力の振

50

幅値が最大となるため、観測が容易となり、より精度の高い測定が可能となる。

L N 光変調器 1 1 からの出射光は、フォトディテクタ 5 7 で光出力を検出し、検出信号をオシロスコープ 5 8 で観測する。

【0018】

本実験例における測定結果は、各被測定周波数 1 G H z、5 G H z、1 0 G H z に対し、半波長電圧は 4. 9 V、5. 7 V、6. 4 V となった。

図 1 0 では、この測定結果である半波長電圧を利用した場合の L N 光変調器 1 1 の電気・光応答特性と、光コンポーネントアナライザによる L N 光変調器 1 1 の電気・光応答特性の測定結果を比較したものである。これによると両者は非常に良く一致しており、本発明の測定は従来のものと比較し大幅に簡素化して測定しているにも拘わらず、測定結果は L N 光変調器 1 1 の特性を的確に捉えていることから、本発明の測定精度は非常に優れたものと言える。

10

【0019】

また、本発明の測定方法及び装置は自動化することも可能であり、例えば、高周波 A C 信号の電圧振幅 V_{p-p} を 0 から自動的に増加させ、光出力の低速応答 I' の変動幅が所定値以内（所定値は 0 に近いほどより正確な測定結果が得られるが、測定誤差などの影響により完全に 0 とすることは困難なため、測定結果の用途に応じて効率的な測定が行える値を設定するのが望ましい）になった時点の値 V_{p-p} を記憶させ、該値を用いて別途設けられた演算装置により半波長電圧 V_{π} を算出するように構成することができる。そして、被測定周波数を順次変更しながら、同様な測定方法を繰り返すことで、任意の周波数帯域に渡る半波長電圧を自動的に測定することが可能となる。

20

【0020】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、モニタ用低周波 A C 信号による出力光の強度変化がほぼ 0 となる時の高周波 A C 信号の電圧振幅値の最小値 $V_{p-p \min}$ を測定し、式 $\pi V_{p-p \min} / (2 V_{\pi}) = 2. 4 0 5$ に代入するだけで、簡単にマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧 V_{π} が測定できる。

しかも、被測定周波数が高周波であっても、直接高周波波形を観測する必要がないため、精密な測定が可能であると共に、バイアス点に依存しない測定方法のため、バイアス点調整が不要な上、光変調器のバイアス点変動の影響を受けない。

30

さらに、半波長電圧 V_{π} の計算に用いるパラメータも $V_{p-p \min}$ のみでよいなど、極めて効果的なマッハツェンダ型光変調器の半波長電圧測定方法及び装置が提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 M Z 型光変調器の概略図。

【図 2】 M Z 型光変調器の V-I 特性を示すグラフ。

【図 3】 従来例 1 の測定方法を示す概略図。

【図 4】 従来例 1 の測定方法による V-I 特性等の関係を示すグラフ。

【図 5】 従来例 2 の測定方法を示す概略図。

【図 6】 従来例 2 の測定方法による V-I 特性等の関係を示すグラフ。

【図 7】 本発明の測定方法を示す概略図。

40

【図 8】 本発明の測定法による光出力の低速応答の状態変化を示すグラフ。

【図 9】 本発明の実験例を示す概略図

【図 1 0】 本発明の測定結果を利用した場合の M Z 型光変調器における電気・光応答特性を示すグラフ。

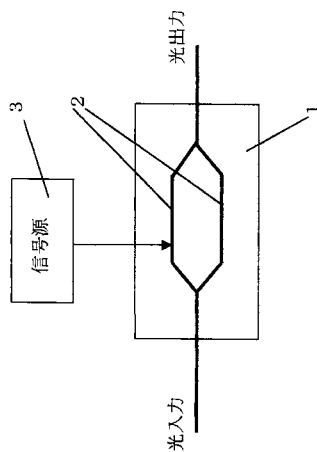
【符号の説明】

- 1 M Z 型光変調器
- 2 光導波路
- 3 信号源
- 4 レーザ光源
- 3 1 高周波 A C 信号

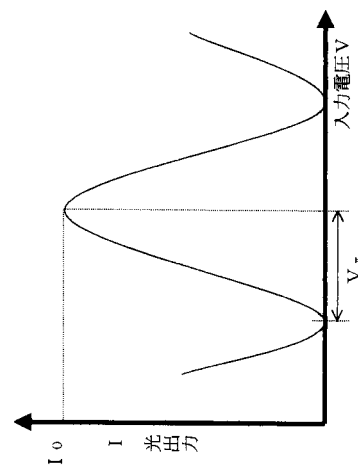
50

- 3 2 D C 電 源
- 3 3 バイアス T
- 3 4 高周波 A C 信 号
- 3 4 - 1 高周波信号発生器
- 3 4 - 2 高周波アンプ
- 3 5 低周波 A C 信 号
- 3 5 - 1 低周波信号発生器
- 3 6 信号加算器
- 4 1 レーザ光源
- 4 2 偏波コントローラ
- 5 1 高速フォトディテクタ
- 5 2 サンプリングオシロスコープ
- 5 3 光カプラー
- 5 4 光パワーメータ
- 5 5 フォトディテクタ
- 5 6 スペクトラムアナライザ
- 5 7 フォトディテクタ
- 5 8 オシロスコープ

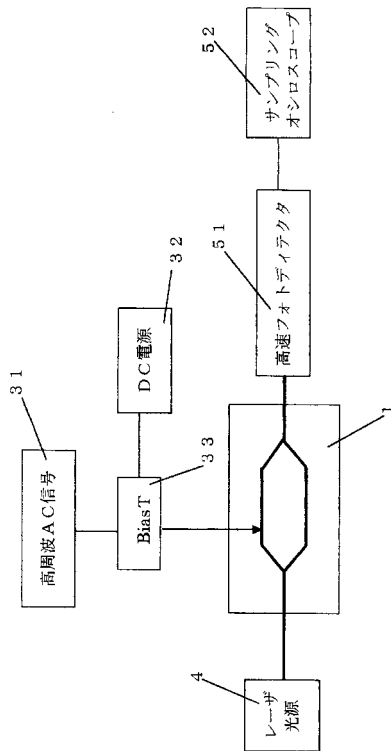
【図 1】



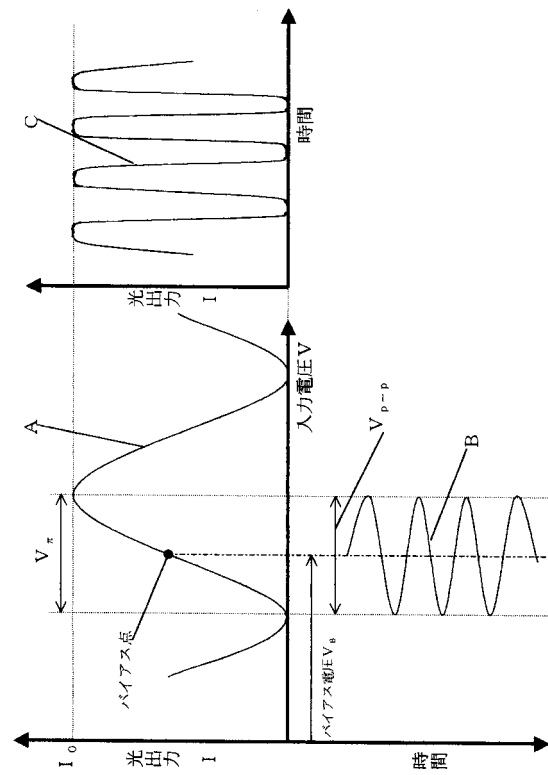
【図 2】



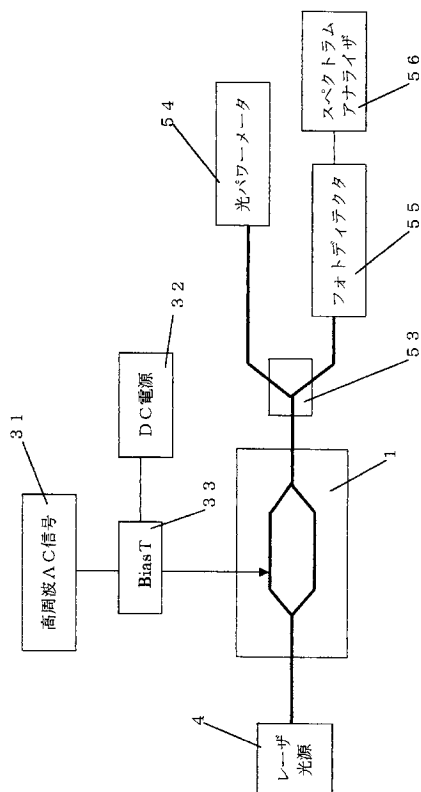
【図 3】



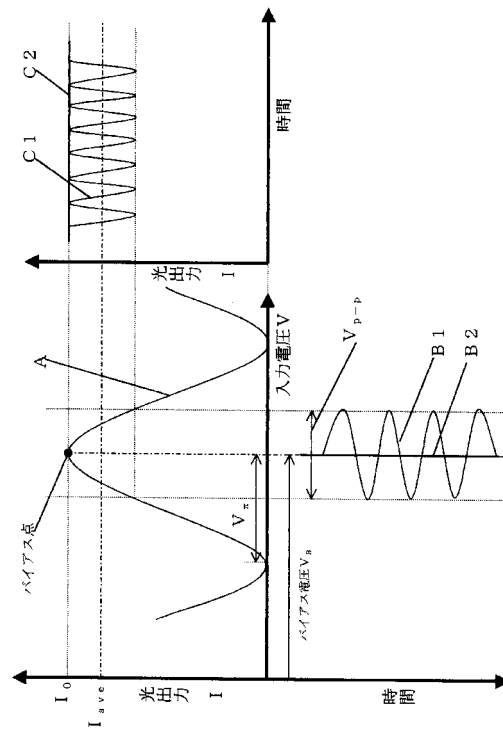
【図 4】



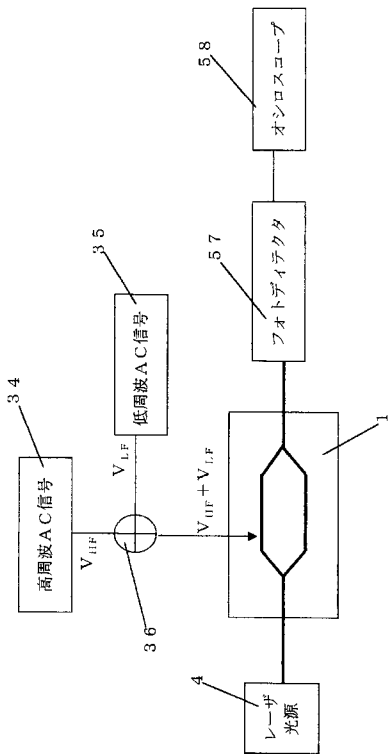
【図 5】



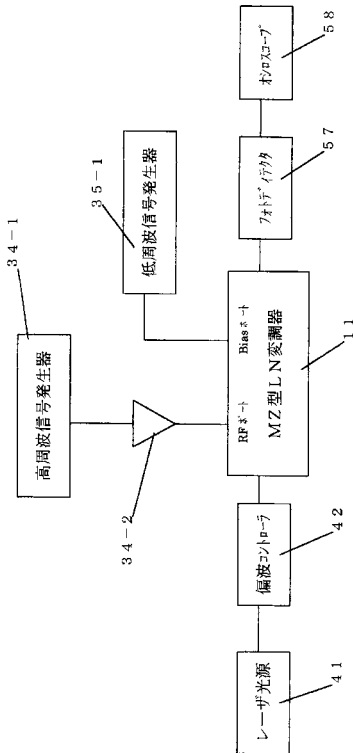
【図 6】



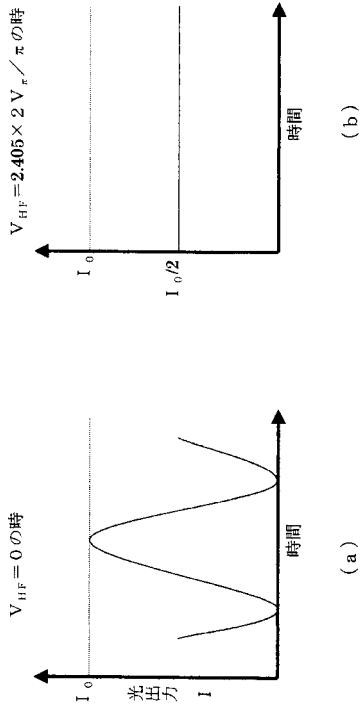
【図 7】



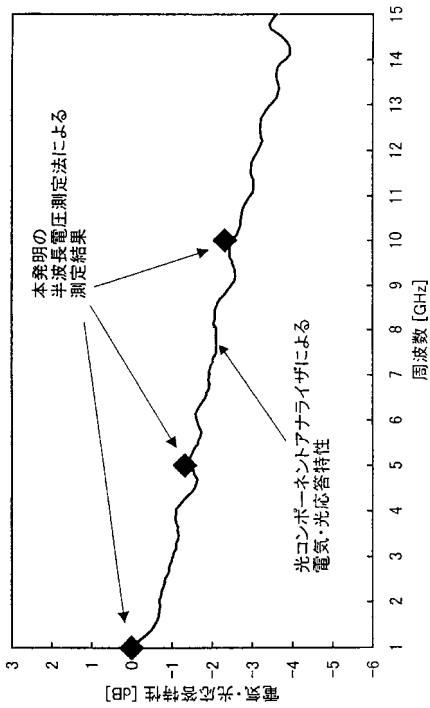
【図 9】



【図 8】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平3-123828 (JP, A)

Gopalakrishnan, G.K. et al., Performance and modeling of broadband LiNbO₃ traveling wave optical intensity modulators, Journal of Lightwave Technology, 1994年 8月, Vol.12 No.10, pages1807-1819

Hidemi Tsuchida et al., A Novel Technique for Measuring the Frequency Deviation of Semiconductor Lasers Under Direct Modulation, Jpn. J. Appl. Phys., 1983年 1月20日, Vol.22 No.1, pp. L19-L21

Tsuchida, H., Interference with a frequency-modulated semiconductor laser, Journal of Lightwave Technology, 1989年12月, Vol.7 No.12, pages 1906-1911

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M11/00-02

G02F1/035

JSTPlus(JDreamII)