

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2005-292068
(P2005-292068A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005. 10. 20)

(51) Int.Cl.⁷
GO 1 R 15/24
GO 1 R 31/302

F I
GO 1 R 15/07
GO 1 R 31/28

C
L

テーマコード (参考)
2 GO 2 5
2 G 1 3 2

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2004-110753 (P2004-110753)	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(22) 出願日	平成16年4月5日(2004. 4. 5)	(74) 代理人	100075753 弁理士 和泉 良彦
		(74) 代理人	100081341 弁理士 小林 茂
		(72) 発明者	都甲 浩芳 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会 社内
		(72) 発明者	永妻 忠夫 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会 社内
		最終頁に続く	

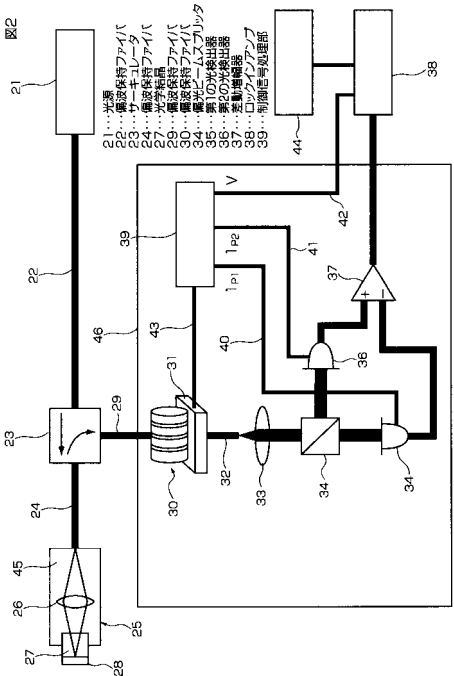
(54) 【発明の名称】 計測システム

(57) 【要約】

【課題】 光学結晶の変位による感度の低下を抑制する。

【解決手段】 光源21からの光源出力直線偏光を光学結晶27に伝送し、光学結晶27を介して光源出力直線偏光を被測定物理量により偏光変調してサーキュレータ23により偏光調整器30に伝送し、偏光調整器30によって偏光変調光を任意偏光に変換し、任意偏光を偏光ビームスプリッタ34により直交する分離直線偏光に分離し、分離直線偏光をそれぞれ光検出器35、36により電気信号に変換し、電気信号を差動増幅器37により差動信号として出力し、差動信号をロックインアンプ38により被測定物理量の振幅信号と位相信号として出力し、光検出器35、36の光電流とロックインアンプ38からの振幅信号を制御信号処理部39に入力し、制御信号処理部39により光電流が等しくかつ振幅信号が最大となるように偏光調整器30を制御して任意偏光を調節する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源から出射された光源出力直線偏光が偏波保持ファイバによってサーキュレータを経由して光学結晶に伝送され、上記光学結晶を介して上記光源出力直線偏光が被測定物理量により偏光変調された後、偏光変調された偏光変調光が上記偏波保持ファイバに再入射され、上記サーキュレータにより偏光調整器に伝送され、上記偏光調整器によって上記偏光変調光が任意偏光に変換された後、上記任意偏光が偏光ビームスプリッタにより直交する第 1、第 2 の分離直線偏光に分離され、上記第 1、第 2 の分離直線偏光がそれぞれ第 1、第 2 の光検出器により電気信号に変換され、上記電気信号が差動増幅器により差動信号として出力され、上記差動信号が電気信号測定器により上記被測定物理量の振幅信号と位相信号として出力される計測システムにおいて、上記第 1、第 2 の光検出器の第 1、第 2 の光電流と上記電気信号測定器からの上記振幅信号が制御信号処理部に入力され、上記制御信号処理部が上記第 1、第 2 の光電流が等しくかつ上記振幅信号が最大となるように上記偏光調整器を制御して上記任意偏光を調節することを特徴とする計測システム。

【請求項 2】

請求項 1 記載の計測システムにおいて、上記偏光調整器が上記任意偏光に変換する速度が上記光学結晶を介して上記光源出力直線偏光が被測定物理量によって偏光変調される速度に比べて遅いことを特徴とする計測システム。

【請求項 3】

請求項 1 記載の計測システムにおいて、上記光源出力直線偏光が上記被測定物理量の振動周波数の正数分の 1 の周波数で強度変調された後、上記偏波保持ファイバに入射され、上記電気信号測定器が上記差動信号の変調周波数の成分を出力し、上記偏光調整器の応答周波数が上記変調周波数に比べて小さいことを特徴とする計測システム。

【請求項 4】

請求項 1 記載の計測システムにおいて、上記光源出力直線偏光が上記被測定物理量の振動周波数の正数分の 1 の周波数と上記周波数に比べて小さいビート周波数とを加えた周波数で強度変調された後、上記偏波保持ファイバに入射され、上記電気信号測定器が上記差動信号の上記ビート周波数の成分を出力し、上記偏光調整器の応答周波数が上記ビート周波数に比べて小さいことを特徴とする計測システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は交流電界や交流磁界などの物理量が印加されている電気光学結晶、磁気光学結晶、圧光学（光弾性）結晶などの光学結晶に光を入射させ、光学結晶から出射された光を検出することにより交流電界、交流磁界、音圧などに相当する信号を得る計測システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

図 4 は従来の交流電界を検出する計測システムを示す図である。図に示すように、信号処理部 1 の光源 2 を出射した光ビーム 3 は、偏光ビームスプリッタ（Polarizing-beam splitter; PBS）4、ファラデー回転子（Faraday rotator; FR）5、1/2 波長板（Half-wave plate; HWP）6、偏光ビームスプリッタ 7、1/4 波長板（Quarter-wave plate; QWP）8、1/2 波長板 9、レンズ 10 を透過した後、光ファイバ 11 によってセンサヘッド 12 に伝搬される。センサヘッド 12 で空間に出射した光ビーム 3 はレンズ 13 でコリメートされ、電気光学（Electro-optic; EO）結晶 14 に入射する。電気光学結晶 14 に入射した光ビーム 3 は電気光学結晶 14 の端面に形成された誘電体鏡 15 で反射され、電気光学結晶 14 内を逆行する。

【0003】

一方で、被測定電界は誘電体鏡 15 を通して電気光学結晶 14 内に進入することが可能である。電気光学結晶 14 に電界が印加されると、電気光学結晶 14 の複屈折率が変化する

るため、電気光学結晶 14 内を伝播する光は偏光変調を受ける。偏光変調された光ビーム 3 は再び光ファイバ 11 に入射し、信号処理部 1 の偏光検出系に伝播され、強度変調光に変換された後に、光検出器 (Photodetector; PD) 16、17 で検出され、光検出器 16、17 の出力電気信号を差動増幅器 18、電気信号測定器 19 で処理することにより、被測定電界を検出する。

【0004】

【特許文献 1】特開 2000 - 171487 号公報

【特許文献 2】特開 2001 - 50908 号公報

【特許文献 3】特開 2003 - 14801 号公報

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、このような計測システムにおいては、電気光学結晶 14 を備えるセンサヘッド 12 と信号処理部 1 とは、光ファイバ 11 により接続されており、センサヘッド 12 の変位により光ファイバ 11 に応力が加わると、光ファイバ 11 を伝搬する光ビーム 3 の偏光状態が変化するから、センサヘッド 12 の変位により電気光学結晶 14 に入射する光ビーム 3 の偏光状態と信号処理部 1 に入射する光ビーム 3 の偏光状態とが変化するため、センサヘッド 12 を動かすと感度の変動するという問題があった。

【0006】

本発明は上述の課題を解決するためになされたもので、光学結晶の変位による感度の低下を抑制することができる計測システムを提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

この目的を達成するため、本発明においては、光源から出射された光源出力直線偏光が偏波保持ファイバによってサーキュレータを経由して光学結晶に伝送され、上記光学結晶を介して上記光源出力直線偏光が被測定物理量により偏光変調された後、偏光変調された偏光変調光が上記偏波保持ファイバに再入射され、上記サーキュレータにより偏光調整器に伝送され、上記偏光調整器によって上記偏光変調光が任意偏光に変換された後、上記任意偏光が偏光ビームスプリッタにより直交する第 1、第 2 の分離直線偏光に分離され、上記第 1、第 2 の分離直線偏光がそれぞれ第 1、第 2 の光検出器により電気信号に変換され、上記電気信号が差動増幅器により差動信号として出力され、上記差動信号が電気信号測定器により上記被測定物理量の振幅信号と位相信号として出力される計測システムにおいて、上記第 1、第 2 の光検出器の第 1、第 2 の光電流と上記電気信号測定器からの上記振幅信号が制御信号処理部に入力され、上記制御信号処理部が上記第 1、第 2 の光電流が等しくかつ上記振幅信号が最大となるように上記偏光調整器により上記任意偏光を調節するようにする。

30

【0008】

この場合、上記偏光調整器が上記任意偏光に変換する速度が上記光学結晶を介して上記光源出力直線偏光が被測定物理量によって偏光変調される速度に比べて遅くなるようにしてもよい。

40

【0009】

また、上記光源出力直線偏光が上記被測定物理量の振動周波数の正数分の 1 の周波数で強度変調された後、上記偏波保持ファイバに入射され、上記電気信号測定器が上記差動信号の変調周波数の成分を出力し、上記偏光調整器の応答周波数が上記変調周波数に比べて小さくなるようにしてもよい。

【0010】

また、上記光源出力直線偏光が上記被測定物理量の振動周波数の正数分の 1 の周波数と上記周波数に比べて小さいビート周波数とを加えた周波数で強度変調された後、上記偏波保持ファイバに入射され、上記電気信号測定器が上記差動信号の上記ビート周波数の成分を出力し、上記偏光調整器の応答周波数が上記ビート周波数に比べて小さくなるようにし

50

てもよい。

【発明の効果】

【0011】

本発明に係る計測システムにおいては、光学結晶を動かすことによって光ファイバにかかる応力が変化し、偏光変調光にランダムな偏光変化が加わったとしても、常に最大の感度で被測定物理量を計測することが可能になる。

【0012】

また、偏光調整器が任意偏光に変換する速度が光学結晶を介して光源出力直線偏光が被測定物理量によって偏光変調される速度に比べて遅くなるようにしたときには、被測定物理量によって偏光変調された偏光信号が打ち消されてしまうことがなく、被測定物理量を

10

【0013】

また、光源出力直線偏光が被測定物理量の振動周波数の正数分の1の周波数で強度変調された後、偏波保持ファイバに入射され、電気信号測定器が差動信号の変調周波数の成分を出力し、偏光調整器の応答周波数が変調周波数に比べて小さくなるようにしたときには、被測定物理量を正確に測定することができる。

【0014】

また、光源出力直線偏光が被測定物理量の振動周波数の正数分の1の周波数と周波数に比べて小さいビート周波数とを加えた周波数で強度変調された後、偏波保持ファイバに入射され、電気信号測定器が差動信号のビート周波数の成分を出力し、偏光調整器の応答周波数がビート周波数に比べて小さくなるようにしたときには、被測定物理量を正確に測定

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

図1は本発明に係る計測システムを示すブロック図、図2は図1に示した計測システムの構成例を示す図である。図に示すように、光源21、サーキュレータ23、光学センサ25、偏光調整器30、偏光ビームスプリッタ34、第1、第2の光検出器35、36、差動増幅器37、ロックインアンプ38、表示部44および制御信号処理部39を有している。光源21からサーキュレータ23、サーキュレータ23から光学センサ25、サーキュレータ23から偏光調整器30までの偏光を保持するため、それぞれを接続するファイバとして偏波保持ファイバ(Polarization-maintaining fiber; PMF)22、24、29を用いている。また、偏光調整器30の出力ファイバとしては偏波保持ファイバ32を用いている。光学センサ25はレンズ26、光学結晶27、ミラー28、誘電体管45を有している。なお、被測定物理量により使用する光学結晶27は異なり、電界を測定するときはCdTe、ZnTe、DASTなどの電気光学結晶を用い、磁界を測定するときはYIGや希薄磁性半導体(DMS)などの磁気光学結晶を用い、音圧を測定するときは水晶やTeO₂結晶などの光弾性結晶を用いる。

30

【0016】

光源21から出射された光源出力直線偏光は、偏波保持ファイバ22、24によってサーキュレータ23を経由して光学結晶27に伝送され、たとえば光学結晶27において瞬時印加電界によって偏光変調された偏光変調光は偏波保持ファイバ24に再入射され、偏波保持ファイバ24、29により偏波モード分散を重畳されて、サーキュレータ23により偏光信号処理ユニット46の偏光調整器30に伝送される。偏光調整器30に伝送された偏光変調光は偏光調整器30により直線偏光や楕円偏光などの任意偏光に変換される。また、偏光調整器30の応答速度が被測定電界の変位速度よりも大きいと、被測定電界により偏光変調された偏光信号が打ち消されてしまう。このため、偏光調整器30により任意偏光に変換する速度を光学結晶27を介して光源出力直線偏光が被測定物理量によって偏光変調される速度よりも十分遅くする。すなわち、偏光調整器30の応答周波数を被測定物理量の振動周波数に比べて小さくする。なお、偏光調整器30の応答速度は被測定物理量によって異なる。マイクロ波以上の電磁界を計測するときの偏光調整器30の応答周

40

50

波数は 300 MHz 以下でなければならず、VHF 以上の電磁界を計測するときには 30 MHz 以下でなければならず、超音波を計測するときは 20 kHz 以下でなければならない。計測システムにおいて偏光調整器 30 が対象とする偏光変化は、偏波保持ファイバ 24、29 の長さによって決定される偏波モード分散の重畳、光学結晶 27 に入射される光源出力直線偏光の軸ずれによる偏波面の回転、偏波保持ファイバ 24、29 の温度変化や曲げ応力に起因する偏光変化である。

【0017】

偏光調整器 30 は 1/2 波長板、1/4 波長板、波長板を回転するモータ 31 を有している。波長板の回転動作によって偏光軸が傾く、移動するなどのことがないように、モータ 31 としてはリニア駆動のモータもしくはエアベアリングを使用したモータを用いるのが好ましい。また、波長板の回転角度精度は約 1° 以下が必要であり、無限回転が可能であることが好ましい。また、簡易的にモータ 31 を制御するのに GP-IB が有用であるが、高速制御が要求される場合、直接制御回路が必要である。

10

【0018】

偏光調整器 30 から出力された任意偏光は偏光ビームスプリッタ 34 により直交する p 偏光（第 1 の分離直線偏光）と s 偏光（第 2 の分離直線偏光）とに分離される。なお、図 1、図 2 に示した計測システムにおいては、偏光調整器 30 の出力ファイバ 32 からの空間伝搬光をレンズ 33 によりコリメートした後、偏光ビームスプリッタ 34 に入射しているが、ファイバ型や光導波路型の偏光ビームスプリッタを用いるときには、偏光調整器 30 と偏光ビームスプリッタ、偏光ビームスプリッタと光検出器 35、36 を光ファイバで接続することができる。この場合、光ファイバは偏波保持ファイバ、シングルモードファイバ（SMF）のいずれでもよく、軸合わせの容易なシングルモードファイバとする方が安価となる。

20

【0019】

偏光ビームスプリッタ 34 により分離された p 偏光および s 偏光は、被測定電界の振幅に応じて互いに逆相に変動する強度変調光として、それぞれ光検出器 35、36 によって光電変換され、光検出器 35、36 から電気信号が出力される。なお、光検出器 35、36 は被測定物理量の変動周波数よりも高い周波数まで十分な変換効率を有していなければならない。

【0020】

差動増幅器 37 は光検出器 35、36 から電気信号を入力して、光検出器 35、36 から電気信号の差に比例した信号を出力する。この差動増幅器 37 の出力信号は被測定電界に比例した信号であり、ロックインアンプ 38 によって検出される。すなわち、差動信号はロックインアンプ 38 により被測定物理量の振幅信号と位相信号として出力される。

30

【0021】

光検出器 35、36 の第 1、第 2 の光電流 I_{p1} 、 I_{p2} とロックインアンプ 38 からの振幅信号（強度信号） V とが信号線 40～42 を介して制御信号処理部 39 に入力され、制御信号処理部 39 は光電流 I_{p1} 、 I_{p2} が等しくかつ振幅信号 V が最大となるように信号線 43 を介してモータ 31 を制御することにより偏光調整器 30 を制御して任意偏光を調節する。

40

【0022】

図 3 は光検出器 35、36 の規格化された出力電気信号 $V_1(t)$ および $V_2(t)$ 、差動増幅器 37 の規格化された出力電気信号 $V(t)$ を示している。ここで t は時間を表す。偏光変調光が偏光調整器 30 によって円偏光に保たれている場合には、出力電気信号 $V_1(t)$ 、 $V_2(t)$ の波形はそれぞれ図 3(a)、(b) に示されるようになり、出力電気信号 $V(t)$ の波形は図 3(c) に示されるように振幅が十分大きく DC 成分はゼロになる。もし、偏光調整器 30 を使わない場合には、偏光変調光はファイバ内でランダムに偏光状態が変化し、一般に出力電気信号 $V_1(t)$ 、 $V_2(t)$ の波形はそれぞれ図 3(d)、(e) に示すようになり、出力電気信号 $V(t)$ の波形は図 3(f) に示すように振幅が小さくなる。また、出力電気信号 $V(t)$ の波形には DC 成分が存在するので、差動増幅器 37 が飽和し

50

正常に動作しなくなるばかりか、雑音が大きくなるというデメリットが生じる。

【0023】

すなわち、光検出器35、36の光電流 I_{p1} 、 I_{p2} を一致させたときには、図3(a)、(b)に示すように、出力電気信号 $V_1(t)$ 、 $V_2(t)$ のDC電圧を一致させることができる。光検出器35、36の光電流 I_{p1} 、 I_{p2} は入力光による励起電流の平均値であるため、DC電圧として参照することが可能である。DC電圧が一致することにより、差動増幅器37の雑音レベルが最小になる。この光電流 I_{p1} 、 I_{p2} の参照においては、偏光ビームスプリッタ34において分割される偏光の量が一致しているだけであり、偏光調整器30により直線偏光や楕円偏光に調整されている可能性がある。このため、ロックインアンプ38からの振幅信号 V を参照して、偏光調整器30により円偏光を形成するようすなわち振幅信号が最大なるように偏波を調整すれば、差動増幅器37から出力される信号が最大になり、SN比が最大となって、常に最大の感度が得られる。

10

【0024】

このように、図1、図2に示した計測システムにおいては、常に最大の感度が得られるから、光学センサ25を動かすことによって偏波保持ファイバ24にかかる応力が変化し、偏光変調光にランダムな偏光変化が加わったとしても、最大の感度で被測定物理量を計測することが可能になる。また、偏光調整器30により任意偏光に変換する速度を光学結晶27を介して光源出力直線偏光が被測定物理量によって偏光変調される速度よりも十分遅くしているから、被測定電界等の被測定物理量により偏光変調された偏光信号が打ち消されてしまうことがなく、被測定物理量を確実に計測することができる。

20

【0025】

なお、CW光源を用いて正弦振動する被測定物理量を計測する場合、ミリ波帯やTHz帯などの高い周波数で変化する被測定物理量やパルス状に繰り返される被測定物理量を測定するとき、光検出器35、36や差動増幅器37の帯域が足りないため、被測定物理量を正確に測定することができない。そこで、光源出力直線偏光を被測定物理量の振動周波数の正数分の1の周波数で強度変調した後、偏波保持ファイバ22に入射し、ロックインアンプ38が差動信号の変調周波数の成分を出力し、偏光調整器30の応答周波数を差動信号の変調周波数に比べて小さくすれば、被測定物理量を正確に測定することができる。また、光源出力直線偏光を被測定物理量の振動周波数の正数分の1の周波数と上記周波数に比べて小さいビート周波数とを加えた周波数で強度変調した後、偏波保持ファイバ22に入射し、ロックインアンプ38が差動信号のビート周波数の成分を出力し、偏光調整器30の応答周波数をビート周波数に比べて小さくすれば、被測定物理量を正確に測定することができる。なお、強度変調光は光検出器35、36の注入電流を変調する直接変調により容易に得られる。また、強度変調器を用いてCW光を強度変調する外部変調により発生させることもできる。しかし、変調器に入力できる光量が制限されるため、後段に光増幅器が必要になるなど、システムが複雑になる。このような強度変調光を用いて測定する場合、偏光変調器30の応答周波数を差動信号の変調周波数よりも小さくする。例えば、10kHzのビート周波数を用いる場合、偏光変調器30の応答周波数を10kHzよりも小さく設定する。

30

【0026】

なお、上述実施の形態においては、偏光調整器として1/2波長板、1/4波長板、波長板を回転するモータ31を有する偏光調整器30を用いたが、偏光調整器は光ファイバと光ファイバの外径方向に圧力を加える機構によっても構成することができる。光ファイバの外径方向に圧力を加えると、圧力が加えられた方向とその方向と直交する方向の光弾性定数の差が生じて、複屈折が発生する。お互いに45°傾いた3方向から圧力を加えることによって、それぞれ直交する偏光に対して360°(1波長)以上の偏波モード分散を与えることができ、偏光を無限に回転することができる。複屈折の大きさは加えられた圧力に比例するが、ある圧力を超えると光ファイバが破損するため、さらに45°ずらした4方向から圧力を加えて偏光を回転させることが実用的である。

40

【0027】

50

また、上述実施の形態においては、偏光調整器 30 の出力ファイバとして偏波保持ファイバ 32 を用いたが、偏光調整器の出力ファイバとしてシングルモードファイバを用いてもよい。また、上述実施の形態においては、電気信号測定器としてロックインアンプ 38 を用いたが、電気信号測定器としてスペクトラムアナライザ、オシロスコープなどを用いてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図 1】本発明に係る計測システムを示すブロック図である。

【図 2】図 1 に示した計測システムの構成例を示す図である。

【図 3】光検出器、差動増幅器の規格化された出力電気信号を示すグラフである。

10

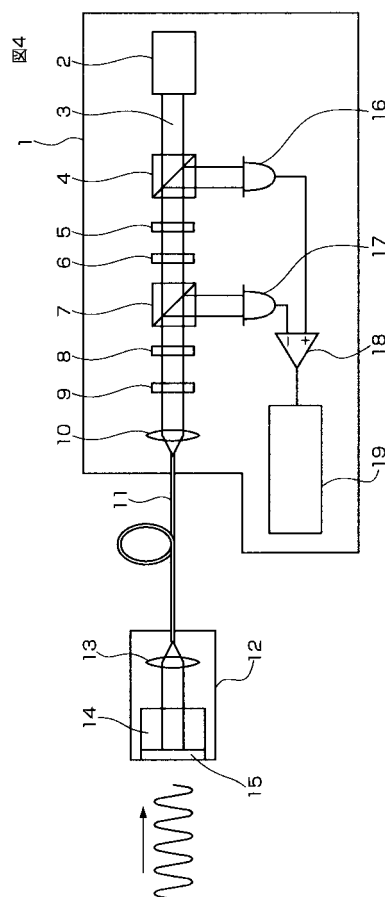
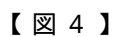
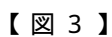
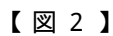
【図 4】従来の交流電界を検出する電気光学結晶を用いた電界センサを有する計測システムを示す図である。

【符号の説明】

【0029】

- 21 ... 光源
- 22 ... 偏波保持ファイバ
- 23 ... サーキュレータ
- 24 ... 偏波保持ファイバ
- 27 ... 光学結晶
- 29 ... 偏波保持ファイバ
- 30 ... 偏波保持ファイバ
- 34 ... 偏光ビームスプリッタ
- 35 ... 第 1 の光検出器
- 36 ... 第 2 の光検出器
- 37 ... 差動増幅器
- 38 ... ロックインアンプ
- 39 ... 制御信号処理部

20



フロントページの続き

(72)発明者 清水 直文

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

日本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2G025 AA12 AB10 AB11 AC06

2G132 AF15 AL12