

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード <sup>8</sup> (参考)
G01R 31/08		G01R 31/08	2G015
29/08		29/08	D 2G033
31/12		31/12	A
31/16		31/16	
H02H 3/00		H02H 3/00	N

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全11頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001 - 226255( P 2001 - 226255)

(22)出願日 平成13年 7月26日(2001.7.26)

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町 4丁目 1番 8号

(72)発明者 川田 昌武

名古屋市千種区北千種 1丁目 6番35号 千種西住宅 4棟207号

(74)代理人 100087147

弁理士 長谷川 文廣

Fターム(参考) 2G015 AA06 AA27 BA02 CA01

2G033 AA00 AB01 AB07 AC05 AC08

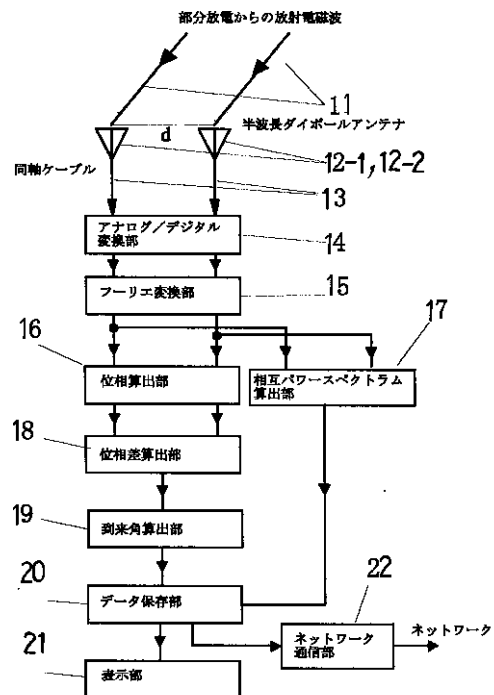
AD18 AE02 AE04 AG12 AG14

(54)【発明の名称】電磁波源検出方法および絶縁劣化診断方法と装置

(57)【要約】

【課題】 狭いスペース内で、絶縁物の劣化による部分放電箇所あるいは電磁波源の位置を的確に特定できるコンパクトな手段を提供することにある。

【解決手段】 UHF帯を含む超広帯域の電波干渉計システムにより、絶縁材料で被覆あるいは保護された電力機器・設備等の絶縁劣化箇所を診断する。絶縁劣化箇所が生じる部分放電から放射される電磁波信号を、UHF帯の複数のアンテナで受信し、電磁波源の方位を解析することにより、絶縁劣化箇所を特定する。UHF帯アンテナを使用できるため、アンテナ自体が小さくなり、かつ、アンテナ間の基線長も短くなることから、小型化が可能となる。



超広帯域VHF/UHF電波干渉計システム

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 UHF 帯を含む帯域の超広帯域電波干渉計システムにより電磁波の到来角を検出して、その電磁波源位置を特定することを特徴とする電磁波源検出方法。

【請求項 2】 超広帯域電波干渉計システムの帯域は、UHF 帯および VHF 帯からなることを特徴とする請求項 1 に記載の電磁波源検出方法。

【請求項 3】 絶縁材料で被覆あるいは保護された電力機器・設備等の絶縁劣化箇所を診断する絶縁劣化診断方法であって、その絶縁劣化箇所が生じる部分放電から放射される電磁波信号を、UHF 帯までの帯域をもつ超広帯域電波干渉計システムにより複数のアンテナで受信し、電磁波源の方位を解析することにより、絶縁劣化箇所を特定することを特徴とする絶縁劣化診断方法。

【請求項 4】 超広帯域電波干渉計システムの帯域は、UHF 帯と VHF 帯からなることを特徴とする請求項 3 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 5】 超広帯域電波干渉計システムのアンテナには、UHF 帯アンテナを使用することを特徴とする請求項 4 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 6】 超広帯域電波干渉計システムのアンテナには、半波長ダイポールアンテナあるいは 4 分の 1 波長モノポールアンテナを使用することを特徴とする請求項 3 ないし請求項 5 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 7】 部分放電から放射される電磁波信号の低周波成分により到来角の概算を求め、高周波成分により到来角を高精度に求めることを特徴とする請求項 3 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 8】 部分放電から放射される電磁波信号の低周波成分は VHF 帯成分であり、高周波成分は UHF 帯成分であることを特徴とする請求項 7 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 9】 複数のアンテナにより受信された放射電磁波信号の相互パワースペクトラムを求めて、周波数成分をより正確に特定することを特徴とする請求項 7 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 10】 受信された放射電磁波信号のアナログ / デジタル変換を、最高周波数の 4 倍以上のサンプリングレートにて行ない、高精度のデジタル信号を取得して、電磁波到来角、相互パワースペクトラムを算出することを特徴とする請求項 7 ないし請求項 9 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 11】 入力デジタル信号に対して、時間窓閉数をかけることにより、時間窓の始端と終端での波形の不連続を防ぐことを特徴とする請求項 10 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 12】 無放電時での電磁波到来角分布、相互パワースペクトラムを背景雑音として予め取得して、絶縁劣化診断時に算出した電磁波到来角、相互パワースペ

クトラムと比較し、有効データのみを取り出すことを特徴とする請求項 7 ないし請求項 11 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 13】 絶縁劣化診断の結果データを保存するとともに、電力機器・設備の運転履歴等の各種データと照らし合わせて統計的処理を行ない、絶縁劣化診断することを特徴とする請求項 7 ないし請求項 12 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 14】 模擬放電パルスの回路注入により求め得る放電電荷量と、超広帯域電波干渉計システムにより得られた結果との比較により電力機器・設備絶縁劣化、余寿命評価を行なうことを特徴とする請求項 7 ないし請求項 13 に記載の絶縁劣化診断方法。

【請求項 15】 絶縁材料で被覆あるいは保護された電力機器・設備等の絶縁劣化箇所を診断する絶縁劣化診断装置であって、電力機器・設備等の絶縁劣化箇所が生じる部分放電から放射される電磁波信号を受信する複数のアンテナと UHF 帯までの帯域をもつ超広帯域電波干渉計システムを備え、電磁波源の方位を解析することにより、絶縁劣化箇所を特定することを特徴とする絶縁劣化診断装置。

【請求項 16】 超広帯域電波干渉計の帯域は、UHF 帯と VHF 帯からなることを特徴とする請求項 15 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 17】 超広帯域電波干渉計システムのアンテナは、UHF 帯アンテナであることを特徴とする請求項 16 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 18】 超広帯域電波干渉計システムのアンテナは、半波長ダイポールアンテナあるいは 4 分の 1 波長モノポールアンテナを使用することを特徴とする請求項 17 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 19】 部分放電から放射される電磁波信号の低周波成分により到来角の概算を求め、高周波成分により到来角を高精度に求めることを特徴とする請求項 15 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 20】 部分放電から放射される電磁波信号の低周波成分は VHF 帯成分であり、高周波成分は UHF 帯成分であることを特徴とする請求項 16 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 21】 複数のアンテナにより受信された放射電磁波信号の相互パワースペクトラムを求めて、周波数成分をより正確に特定する手段を有することを特徴とする請求項 19 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 22】 受信された放射電磁波信号を、最高周波数の 4 倍以上のサンプリングレートにてデジタル信号に変換するアナログ / デジタル変換器を有し、変換された高精度のデジタル信号に基づき、電磁波到来角、相互パワースペクトラムを算出することを特徴とする請求項 19 ないし請求項 21 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 23】 入力デジタル信号に対して、時間窓閉

数をかけることにより、時間窓の始端と終端での波形の不連続を防ぐ時間窓手段を有することを特徴とする請求項 2 2 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 2 4】 無放電時での電磁波到来角分布、相互パワースペクトラムを背景雑音として予め取得する背景雑音検出手段と、絶縁劣化診断時に算出した電磁波到来角、相互パワースペクトラムと背景雑音とを比較し、有効データのみを取り出す診断精度向上手段とを有することを特徴とする請求項 1 7 ないし請求項 2 1 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 2 5】 絶縁劣化診断の結果データを保存する診断データ保存手段と、電力機器・設備の運転履歴等の各種データを保存する運用状況データ保存手段と、診断データと運用状況データとを照らし合わせて統計的処理により関連性を求める統計処理手段と、を有することを特徴とする請求項 1 9 ないし請求項 2 4 に記載の絶縁劣化診断装置。

【請求項 2 6】 模擬放電パルスの回路注入により放電電荷量を模擬的に算出する模擬放電電荷量算出手段と、診断結果と模擬放電電荷量との比較により電力機器・設備絶縁劣化、余寿命評価を行なうことを特徴とする請求項 1 9 ないし請求項 2 5 に記載の絶縁劣化診断装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、環境中の不要な電磁波源や、電力設備における絶縁物の劣化で生じる放電箇所などを、離れた場所からコンパクトな手段で検出できる電磁波源検出方法に関する。

【0002】本発明は、さらに電力ケーブルや変電・配電設備など、高電圧部分を絶縁物で被覆あるいは支持されている機器、設備における絶縁劣化の診断に有用な絶縁劣化診断方法および装置に関する。

【0003】

【従来の技術】電力機器・設備の絶縁材料が劣化して部分放電 (Partial Discharge: PD) を生じると広帯域電磁波が放射されることが、参考文献 1 ~ 1 3 に示す論文で報告されている。例えば、本発明者らは、参考文献 1 ~ 3 において、ガス絶縁開閉装置 (Gas Insulated Switchgear: GIS) の SF6 ガス中において生じる PD は、VHF (Very High Frequency, 30-300MHz) 帯と、UHF (Ultra High Frequency, 300-3000MHz) 帯の広帯域電磁波を放射することから、VHF 帯電磁波に着目して、電磁波空間位相差法により放電源位置を特定し、またウェーブレット変換 (Wavelet Transform) を用いた時間周波数解析により、放電進展状態を示す電荷量とダイナミックスペクトラム (Dynamic Spectrum) との関係性を明らかにし、劣化が進展するに伴い低周波成分が出現することを報告した。この他、参考文献 4 ~ 8 では、UHF 帯電磁波センシングによる GIS 絶縁診断技術が報告され、また参考文献 9 , 1 0 では、VHF 帯電磁波センシ

ングによる配電用碍子絶縁診断技術が、そして参考文献 1 1 ~ 1 3 では、SHF 帯 (GHz 帯) 電磁波センシングによる発電機固定子コイルの絶縁診断技術が、国内外の様々な研究機関や企業等により報告されている。

【0004】近年、大都市では、用地の有効活用と地中送電設備との整合性のため、あるいは都市の美観等の点から、高層ビルの地下に超高圧変電所が実現している。このような地下変電所では、スペースが極めて限られているため、PD 位置特定のために電磁波センシング技術を導入する場合、センシングシステム自体をいかに小型化するかが課題となる。また、配電線碍子の PD 位置を特定においても、測定時の道路交通への影響を考慮すると、システムの小型化は重要な課題となる。

【0005】ところで、電磁波センシング手法として用いられる電波干渉計は、主に電波天文学等の分野で発展した技術であり、超長基線電波干渉計 (Very Long Baseline Interferometry: VLBI) やスペース VLBI として進化し、現在では、電波天文学分野での応用のみならず、測地応用も行われている。電波干渉計の他の応用例としては、衛星追尾用電波干渉計や、UHF 帯狭帯域 (327MHz , 電波天文の保護バンド) 電波干渉計、及び VHF 帯広帯域電波干渉計による雷放電可視化等が実現されている。なお、VHF 帯広帯域電波干渉計による雷放電可視化は、参考文献 1 4 に示される。

<参考文献>

- 1 . 川田昌武：電力機器の診断技術に関する研究，大阪大学大学院学位論文（工学研究科），1998年
- 2 . 川田昌武，河崎善一郎，松浦虔士，川崎誠：「電磁波空間位相差法を用いた非接触部分放電検出法」，電学論 B ， 115 巻 10 号，pp.1168 - 1173, 1995 年 10 月
- 3 . 川田昌武，和田将一，河崎善一郎，松浦虔士，川崎誠：「SF<sub>6</sub> ガス中における部分放電現象のウェーブレット変換を用いた時間周波数解析」，電学論 B ， 117 巻 3 号，pp.338-345, 1997 年 3 月
- 4 . M.D.Judd, O.Farish, B.F.Hampton "The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS" , IEEE Trans.on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.3, No.2, pp.213 - 228, April 1996
- 5 . 前川洋，土井雅史，川本俊治：「ガス絶縁開閉装置における部分放電源の特定」，電学論 B ， 1 2 0 巻 8 / 9 号，pp.1106-1111 , 2000年 8 / 9 月
- 6 . 加藤達郎，遠藤奎将：「UHF 法による GIS 絶縁異常診断システムの開発」，電学論 B ， 119 巻 4 号，p p.458 - 463, 1999年 4 月
- 7 . 今川浩，江本邦夫，村瀬洋，小山博，若林誠二，榊原高明，萩原英一：「部分放電信号の GIS 内伝播特性に関する周波数依存性の検討」，電学論 B ， 119 巻 10 号，pp.1073 - 1079, 1999 年 10 月
- 8 . 薦田広幸，長田典子，宮下信，亀井光仁，井上悟，

高嶋和夫, 宇佐美照夫: 「GIS 内部電磁波の第一波高値と累積波形指標を用いた部分放電識別」, 電学論 B, 120 巻3号, pp. 333-339, 2000年3月

9. 鈴木雄一, 川田昌武, 河崎善一郎, 松浦虔士, 川崎誠: 「位置標定における重畳最適化法を用いた部分放電源空間標定」, 電学論 B, 118 巻2号, pp. 157-163, 1998年2月

10. Ampol Tungkanawanich, Zen - Ichiro Kawaaki, Kenji Matsuura: "Location of Multiple PD Sources on Distribution Lines by Measuring Emitted Pulse - Train Electromagnetic Waves", 電学論 B, 120 巻11号, pp. 1431-1436, 2000年11月

11. 川田昌武, 河崎善一郎, 松浦虔士, 武蔵谷敏男, 音羽克則, 黒木悟, 森山隆: 「GHz帯電磁波空間位相差法を用いた発電機固定子コイルの非接触部分放電検出システムの開発」, 電学論 B, 117 巻2号, pp. 224-232, 1996年2月

12. 川田昌武, 河崎善一郎, 松浦虔士, 武蔵谷敏男, 黒木悟, 大澤輝也, 田中宏毅: 「発電機固定子コイルの絶縁破壊現象に伴うGHz帯放射電磁波測定による絶縁劣化診断法」, 電学論 B, 118 巻3号, pp. 274 -281, 1998年3月

13. 川田昌武, 河崎善一郎, 松浦虔士, 黒木悟, 大澤輝也, 田中宏: 「GHz帯電磁空間位相差法を用いた火力タービン発電機の運転中における部分放電検出」, 電学論 B, 118 巻11号, pp. 1243- 1248, 1998年11月

14. 特開2001-4731号公報(出願番号: 特願平11-170666, 発明の名称: 広帯域干渉計)

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】地下変電所のような狭いスペース内で、高電圧電力線や変電・配電装置などの電力設備の絶縁部材について劣化を診断するときに、運転状態で種々の試験操作を電力設備に直接行なうのは危険である。また大型の機器では、絶縁劣化の程度が軽微と肉眼では識別できず、劣化位置を特定するのは難しい。そこで、電波干渉計を用いたリモートセンシングにより、絶縁劣化に伴う放電箇所を検出することが考えられるが、従来の電波干渉計を用いたシステムは規模が大きすぎて、狭いスペース内での適用は不可能であった。たとえば参考文献14に示される比較的小型のシステムでも、アンテナの間隔は数mあり、標定する位置は、数km以上離れている遠方の放電現象を対象としていた。

【0007】本発明は、狭いスペース内で、放電箇所あるいは電磁波源の位置を的確に特定できるコンパクトな手段を提供することを目的としている。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明者は、UHF帯を含む超広帯域の電波干渉計システムを開発した。この超広帯域電波干渉計システムは、UHF帯アンテナを使用できるため、アンテナ自体

が小さくなり、かつ、アンテナ間の基線長も短くなることから、小型化が可能となる。従来の狭帯域電波干渉計の場合は、電波到来方向の角度分解能を向上させるために、観測周波数に対応する波長の数倍の基線が多数必要となるが、本発明では、超広帯域としたために、そのような多数の基線は必要としない。また、アンテナ間距離が短いために、アンテナを多地点に配置するという手間や、アンテナ位置、及びアンテナ間の距離測定を行なう必要がないことから、現場での作業時間を短縮することができる。

【0009】本発明は、以下の構成において実現される。

1. UHF帯を含む帯域の超広帯域電波干渉計システムにより電磁波の到来角を検出して、その電磁波源位置を特定することを特徴とする電磁波源検出方法の構成。

2. 超広帯域電波干渉計システムの帯域は、UHF帯およびVHF帯からなることを特徴とする前項1に記載の電磁波源検出方法の構成。

3. 絶縁材料で被覆あるいは保護された電力機器・設備等の絶縁劣化箇所を診断する絶縁劣化診断方法であって、その絶縁劣化箇所が生じる部分放電から放射される電磁波信号を、UHF帯までの帯域をもつ超広帯域電波干渉計システムにより複数のアンテナで受信し、電磁波源の方位を解析することにより、絶縁劣化箇所を特定することを特徴とする絶縁劣化診断方法の構成。

4. 超広帯域電波干渉計システムの帯域は、UHF帯とVHF帯からなることを特徴とする前項3に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

5. 超広帯域電波干渉計システムのアンテナには、UHF帯アンテナを使用することを特徴とする前項4に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

6. 超広帯域電波干渉計システムのアンテナには、半波長ダイポールアンテナあるいは4分の1波長モノポールアンテナを使用することを特徴とする前項3ないし5に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

7. 部分放電から放射される電磁波信号の低周波成分により到来角の概算を求め、高周波成分により到来角を高精度に求めることを特徴とする前項3に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

8. 部分放電から放射される電磁波信号の低周波成分はVHF帯成分であり、高周波成分はUHF帯成分であることを特徴とする前項7に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

9. 複数のアンテナにより受信された放射電磁波信号の相互パワースペクトラムを求めて、周波数成分をより正確に特定することを特徴とする前項7に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

10. 受信された放射電磁波信号のアナログ/デジタル変換を、最高周波数の4倍以上のサンプリングレートに行ない、高精度のデジタル信号を取得して、電磁波

到来角、相互パワースペクトラムを算出することを特徴とする前項 7 ないし 9 に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

1 1 . 入力デジタル信号に対して、時間窓関数をかけることにより、時間窓の始端と終端での波形の不連続を防ぐことを特徴とする前項 1 0 に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

1 2 . 無放電時での電磁波到来角分布、相互パワースペクトラムを背景雑音として予め取得して、絶縁劣化診断時に算出した電磁波到来角、相互パワースペクトラムと比較し、有効データのみを取り出すことを特徴とする前項 7 ないし 1 1 に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

1 3 . 絶縁劣化診断の結果データを保存するとともに、電力機器・設備の運転履歴等の各種データと照らし合わせて統計的処理を行ない、絶縁劣化診断することを特徴とする前項 7 ないし 1 2 に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

1 4 . 模擬放電パルスの回路注入により求め得る放電電荷量と、超広帯域電波干渉計システムにより得られた結果との比較により電力機器・設備絶縁劣化、余寿命評価を行なうことを特徴とする前項 7 ないし 1 3 に記載の絶縁劣化診断方法の構成。

1 5 . 絶縁材料で被覆あるいは保護された電力機器・設備等の絶縁劣化箇所を診断する絶縁劣化診断装置であって、電力機器・設備等の絶縁劣化箇所で生じる部分放電から放射される電磁波信号を受信する複数のアンテナと UHF 帯までの帯域をもつ超広帯域電波干渉計システムを備え、電磁波源の方位を解析することにより、絶縁劣化箇所を特定することを特徴とする絶縁劣化診断装置の構成。

1 6 . 超広帯域電波干渉計の帯域は、UHF 帯と VHF 帯からなることを特徴とする前項 1 5 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

1 7 . 超広帯域電波干渉計システムのアンテナは、UHF 帯アンテナであることを特徴とする前項 1 6 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

1 8 . 超広帯域電波干渉計システムのアンテナは、半波長ダイポールアンテナあるいは 4 分の 1 波長モノポールアンテナを使用することを特徴とする前項 1 7 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

1 9 . 部分放電から放射される電磁波信号の低周波成分により到来角の概算を求め、高周波成分により到来角を高精度に求めることを特徴とする前項 1 5 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

2 0 . 部分放電から放射される電磁波信号の低周波成分は VHF 帯成分であり、高周波成分は UHF 帯成分であることを特徴とする前項 1 6 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

2 1 . 複数のアンテナにより受信された放射電磁波信号の相互パワースペクトラムを求めて、周波数成分をよ

り正確に特定する手段を有することを特徴とする前項 1 9 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

2 2 . 受信された放射電磁波信号を、最高周波数の 4 倍以上のサンプリングレートにてデジタル信号に変換するアナログ/デジタル変換器を有し、変換された高精度のデジタル信号に基づき、電磁波到来角、相互パワースペクトラムを算出することを特徴とする前項 1 9 ないし 2 1 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

2 3 . 入力デジタル信号に対して、時間窓関数をかけることにより、時間窓の始端と終端での波形の不連続を防ぐ時間窓手段を有することを特徴とする前項 2 2 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

2 4 . 無放電時での電磁波到来角分布、相互パワースペクトラムを背景雑音として予め取得する背景雑音検出手段と、絶縁劣化診断時に算出した電磁波到来角、相互パワースペクトラムと背景雑音とを比較し、有効データのみを取り出す診断精度向上手段とを有することを特徴とする前項 1 7 ないし 2 1 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

2 5 . 絶縁劣化診断の結果データを保存する診断データ保存手段と、電力機器・設備の運転履歴等の各種データを保存する運用状況データ保存手段と、診断データと運用状況データとを照らし合わせて統計的処理により関連性を求める統計処理手段と、を有することを特徴とする前項 1 9 ないし 2 4 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

2 6 . 模擬放電パルスの回路注入により放電電荷量を模擬的に算出する模擬放電電荷量算出手段と、診断結果と模擬放電電荷量との比較により電力機器・設備絶縁劣化、余寿命評価を行なうことを特徴とする前項 1 9 ないし 2 5 に記載の絶縁劣化診断装置の構成。

【 0 0 1 0 】 図 1 は、本発明の超広帯域電波干渉計システムにより電磁波の到来角を求める原理の説明図である。同図は、絶縁材料が劣化して部分放電した箇所（図示省略）から放射された広帯域電磁波 1 が、到来角  $\theta$  (deg) 3 で、2 本のアンテナ 2 - 1, 2 - 2 に受信された場合を示している。2 本のアンテナ 2 - 1, 2 - 2 間の距離である基線長 4 は、 $d_m$  とされる。なお、説明の簡単化のためにアンテナは最少の 2 本だけ示されているが、2 本のアンテナで求められるのは到来角のみである。絶縁材料の部分放電箇所あるいは電磁波源が水平面内にあるときは、到来角のみでよい場合もあるが、さらに方位角や仰角が必要な場合や、位置座標を求める必要がある場合には、複数組（最低でも 2 組）のアンテナ対が必要となる。アンテナ 2 - 1, 2 - 2 により、到来角  $\theta$  で受信された電磁波信号 5 ( $S_1(t), S_2(t)$  で示す) の任意周波数成分の位相と位相差との関係は、次の〔数 1〕に示す式 ( 1 ) により表わされる。

【 0 0 1 1 】

【 数 1 】

$$\phi_{12} = \phi_1 - \phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta = \frac{2\pi f}{c} d \sin \theta \quad (1)$$

$\phi_{12}$  [rad]: 両アンテナ間の任意周波数成分の位相差

$\phi_1$  [rad]: アンテナ1の任意周波数成分の位相

$\phi_2$  [rad]: アンテナ2の任意周波数成分の位相

$\lambda$  [m]: 任意周波数成分の波長

$f$  [Hz]: 任意の周波数

$c$  [m/s]: 光速 ( $\approx 3 \times 10^8$  [m/s])

【0012】したがって、電磁波の到来角  $\theta$  は、次の 10 【0013】  
【数2】に示す式(2)により求めることができる。 【数2】

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{c}{2\pi f d} \phi_{12} \right) \quad (2)$$

【0014】アンテナ2-1, 2-2により受信された電磁波信号の任意周波数成分での位相を求めるには、次のようにする。

【0015】両アンテナ2-1, 2-2によりそれぞれ受信された電磁波信号をデジタル変換した信号を、 $s_1(n), s_2(n)$  とする。ここで、 $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ である。 20

このデジタル変換した信号 $s_1(n), s_2(n)$  に対して、次の【数3】に示す式(3a), (3b), (3c)によるデジタル高速フーリエ変換(Digital Fast Fourier Transform)を適用する。

【0016】

【数3】

$$S_1(m) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot s_1(n) \cdot e^{-j2\pi \left( \frac{n \cdot m}{N} \right)} \quad (3a)$$

$$S_2(m) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot s_2(n) \cdot e^{-j2\pi \left( \frac{n \cdot m}{N} \right)} \quad (3b)$$

$$f = \frac{m}{N \cdot \Delta t} \quad (3c)$$

【0017】なお、 $m = 0, 1, 2, \dots, N/2$ であり、 $t$  は、サンプリング時間である。また $h(n)$ は、次の【数4】に示す式(4)で与えられるハニング窓(hanning window)であり、時間窓の始端と終端での波形の不連続を防ぎ、所望のスペクトラムを正確に捉えることができるようにする。時間窓関数としては、このハニング窓以外に

$$h(n) = 0.5 - 0.5 \cos \left( \frac{2\pi n}{N} \right) \quad (4)$$

も、ハミング窓(Hanning window)やブラックマン-ハリス窓(Blackman-Harris window)等があり、任意に選択が可能である。

【0018】

【数4】

【0019】このデジタル高速フーリエ変換を行った結果から、両アンテナにて受信した電磁波信号の任意周波数成分の位相  $\phi_1(m), \phi_2(m)$  を、次の【数5】に示す式

(5a)、(5b)の様を求めることができる。

【0020】

【数5】

$$\phi_1(m) = \tan^{-1} \left( \frac{\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot s_1(n) \cdot \sin 2\pi \left( \frac{n \cdot m}{N} \right)}{\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot s_1(n) \cdot \cos 2\pi \left( \frac{n \cdot m}{N} \right)} \right) \tag{5a}$$

$$\phi_2(m) = \tan^{-1} \left( \frac{\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot s_2(n) \cdot \sin 2\pi \left( \frac{n \cdot m}{N} \right)}{\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot s_2(n) \cdot \cos 2\pi \left( \frac{n \cdot m}{N} \right)} \right) \tag{5b}$$

【 0 0 2 1 】また、両アンテナで受信した信号の相互パワースペクトラム (Cross Power Spectrum Density) を、次の〔数 6〕に示す式 ( 6 ) の様に算出して、両信

$$S_{12}(m) = \frac{1}{N \cdot \Delta t} |S_1(m) \cdot S_2^*(m)| \tag{6}$$

【 0 0 2 3 】従来の狭帯域電波干渉計では、バンドパスフィルタ、局部発振器 (Local Oscillator) を用いて任意の中心周波数による信号の位相差を求めているが、本発明では、受信した UHF 帯を含む超広帯域の電磁波信号をデジタル変換し、このデジタルデータに高速フーリエ変換を適用することにより各周波数成分の位相差を求めている。

【 0 0 2 4 】

【発明の実施の形態】図 2 は、本発明の 1 実施の形態による超広帯域 VHF/UHF 電波干渉計システムの構成図である。図示されていない部分放電 PD より放射された広帯域の放射電磁波 1 1 を、2 本の UHF 帯半波長ダイポールアンテナ 1 2 - 1, 1 2 - 2 を使用して受信する。アンテナ間距離である基線長 d は、d = 1 m とする。なお、アンテナ素子の全長は、周波数 5 0 0 MHz (波長 0. 6 m) の半波長とする (実際には、アンテナのリアクタンス成分=0 とするために、半波長の 0. 3 m より数 % 短い、0. 2 9 m となっている)。なお、半波長ダイポールアンテナの代わりに、4 分の 1 波長のモノポールアンテナを用いることも可能である。その場合、利得は若干減少するが、アンテナをさらに小型化することができる。

【 0 0 2 5 】アンテナ 1 2 - 1, 1 2 - 2 により受信したアナログの電磁波信号を、同軸ケーブル 1 3 を通して、アナログ / デジタル変換部 1 4 に入力し、デジタルデータに変換する。本システムの周波数帯域は、このアナログ / デジタル変換部 1 4 の帯域 5 0 0 MHz ( - 3 dB ) によって制限される。

【 0 0 2 6 】アナログ / デジタル変換を行なうにあたり、アナログ信号を忠実に再現するためには、サンプリング定理により、その入力信号における最大周波数の 2 倍以上の周波数でサンプリングする必要がある。最高周波数の 2 倍の周波数はナイキスト周波数 (Nyquist Frequency) と呼ばれるが、この周波数以下でサンプリングを行った場合には、エリアシング (Aliasing) の問題が生じ

号の相関性を求めることができる。

【 0 0 2 2 】

【数 6】

20

30

40

50

る。一方、ナイキスト周波数にてサンプリングした場合には、エリアシングの問題なしに信号を観測できるはずであるが、例えば、正弦波波形の 1 周期中で振幅値ゼロに近い部分の 2 点をサンプリングした場合には、振幅情報がほとんど含まれないので、元の信号を再生出来ないことになる。そこで、最高周波数の 4 倍以上にてサンプリングを行なうと、 - 3 dB の振幅が確保出来ることから、本システムでは、観測する周波数帯域 ( 5 0 0 MHz ) の 5 倍のサンプリングレートである 2. 5 GHz ( サンプリング時間 0. 4 ns ) にて波形をデジタルデータとして取得し、そのデータを用いて電磁波の到来角を算出する。

【 0 0 2 7 】このようにして得られたデジタルデータを用い、フーリエ変換部 1 5 により、前記の式 ( 3a ), ( 3b ), ( 3c ) 及び ( 4 ) のフーリエ変換演算を実行する。この演算結果を用いて、位相算出部 1 6 において式 ( 5 ) の演算を、また、相互パワースペクトラム算出部 1 7 において式 ( 6 ) の演算を実行する。さらに位相算出部 1 6 により得られた演算結果をもとに、位相差算出部 1 8 において、式 ( 1 ) の演算を実行する。そして、得られた位相差により、到来角算出部 1 9 において式 ( 2 ) の演算を実行し、PD からの放射電磁波の到来角を求める。

【 0 0 2 8 】ところで、デジタル高速フーリエ変換で得られる位相差は、± 2 以内の値となる。また、位相差は高周波ほど大きくなり、角度分解能が高くなるが、± 2, ± 4, ± 8 などのフリンジを越えてしまう可能性があり、位相差に対して正しいフリンジを選択加算する必要が生じる。これに対して、低周波では、角度分解能は低い、その分フリンジを越える可能性は少ない。そこで、本システムでは、到来角算出の際に、PD からの放射電磁波の周波数特性が超広帯域であることに着目して、帯域内の低周波成分、たとえば VHF 帯により到来角を粗く概算し、高周波成分、たとえば UHF 帯で角度分解能の高さを利用して、到来角を高精度に求め

ている。

【0029】求めた到来角と、相互スペクトルは、データ保存部 20 に保存するとともに、表示部 21 に表示して、放電箇所、つまり電磁波源の位置の特定と受信電磁波の周波数成分が容易に分かるようにしている。なお、ネットワーク通信部 22 により、インターネット等のネットワークを介して本システムへのアクセスすることができ、遠隔地からの電力機器・設備の診断が可能にされる。

【0030】図 3 ( a ) ~ ( c ) と図 4 は、本システムによる測定例のグラフであり、放電源として針 - 平板電極を、システムから 3 m の場所に配置し、様々な到来角に対して特定を行った結果のデータをグラフで示す。なお、各図において、上段のグラフは周波数と到来角の関係を示しており、下段のグラフは周波数と相互パワースペクトラムの関係を示している。

【0031】本システムでは、両チャンネルの位相、位相差、到来角は、高周波になるに伴い、より直線的に値が求まり、低周波では分散が大きくなる。すなわち、直線的に値が求まる高周波成分を到来角特定に用いることにより、角度分解能が向上する。低周波成分 ( 150 MHz 以下 ) の到来角よりも、線で囲んだ部分 ( 120 MHz から 150 MHz 前後 ) に多くの点が存在しており、その到来角の値を基準として、400 MHz 前後から 500 MHz 前後の値と比較すると、到来角が特定できる。

【0032】図 3 ( a ) では、400 MHz ~ 500 MHz 前後で、0 deg ~ 10 deg 付近の値として特定している。

【0033】図 3 ( b ) では、470 MHz 前後の数 10 MHz の帯域幅において、到来角が 30 deg 付近の値として特定している。

【0034】図 3 ( c ) では、470 MHz ~ 530 MHz 前後で、到来角が 60 deg 付近の値として特定している。

【0035】図 4 は、無放電時 ( 背景雑音 ) のデータであり、特定到来角の分布は分散が大きく、かつ、相互パワースペクトラムも低レベルであることを示す。なお、450 MHz , 540 MHz 付近にピークが存在するが、放電による広帯域のスペクトラムとは明らかに異なることから、このような結果を示した場合には、その環境に PD 源がないこと、すなわち、電力機器・設備等の

絶縁部に異常はないことを診断できる。

【0036】

【発明の効果】本発明による電磁波源検出方法および絶縁劣化診断方法と装置によれば、超広帯域電波干渉計システムに UHF 帯アンテナを使用できるため、小型化が可能となる。また従来の狭帯域電波干渉計の場合は、電波到来方向の角度分解能を向上させるために、観測周波数に対応する波長の数倍の基線が多数必要であったが、本発明では、超広帯域としたために、そのような多数の基線は必要とせず、アンテナを多地点に配置するという手間や、アンテナ位置、及びアンテナ間の距離測定を行なう手間が不要となり、現場での作業時間を著しく短縮することができる。また、本発明では、インターネット等を介して、遠隔地より電力機器・設備を監視、診断することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】電波干渉計の原理説明図である。

【図 2】本発明の 1 実施の形態による超広帯域電波干渉計システムの構成図である。

【図 3】本発明システムによる到来角測定例のグラフである。

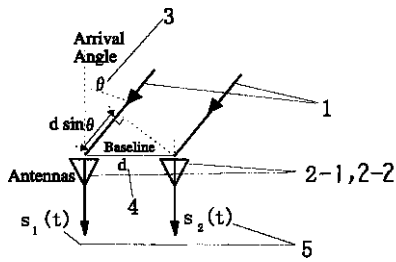
【図 4】本発明システムによる無放電時の到来角測定例のグラフである。

【符号の説明】

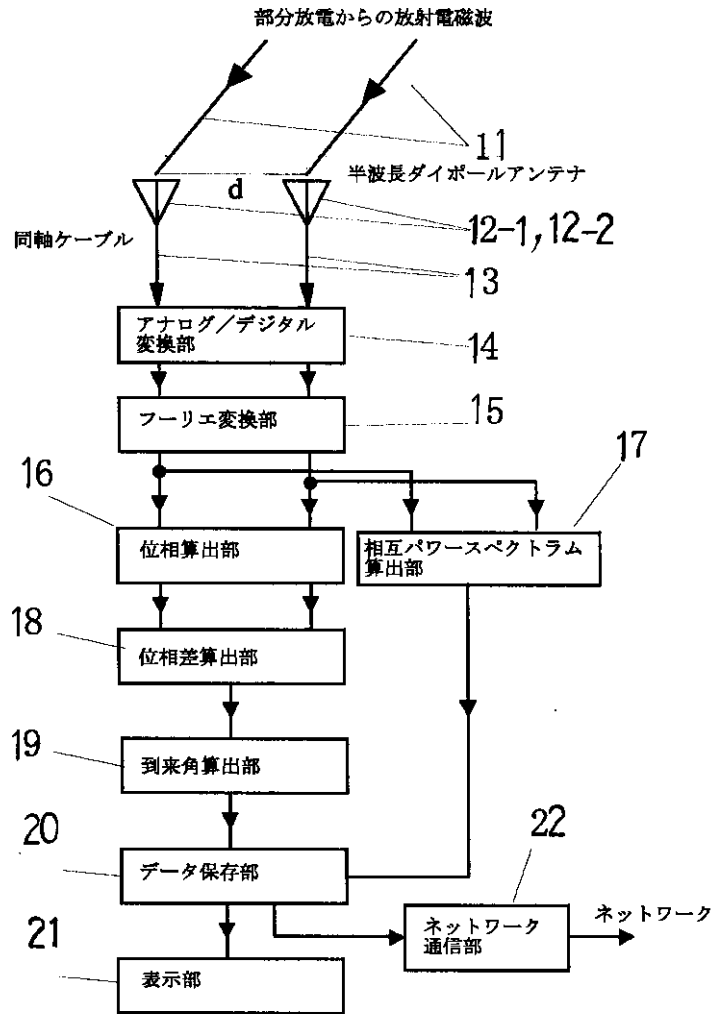
- 1 : 部分放電からの放射電磁波
- 2 - 1 , 2 - 2 : アンテナ
- 3 : 電磁波到来角
- 4 : アンテナ基線長
- 5 : 両アンテナにより受信した電磁波信号
- 11 : 部分放電からの放射電磁波
- 12 - 1 , 12 - 2 : UHF 帯半波長ダイポールアンテナ
- 13 : 同軸ケーブル
- 14 : アナログ / デジタル変換部
- 15 : フーリエ変換部
- 16 : 位相算出部
- 17 : 相互パワースペクトラム算出部
- 18 : 位相差算出部
- 19 : 到来角算出部
- 20 : データ保存部
- 21 : 表示部
- 22 : ネットワーク通信部



【図1】

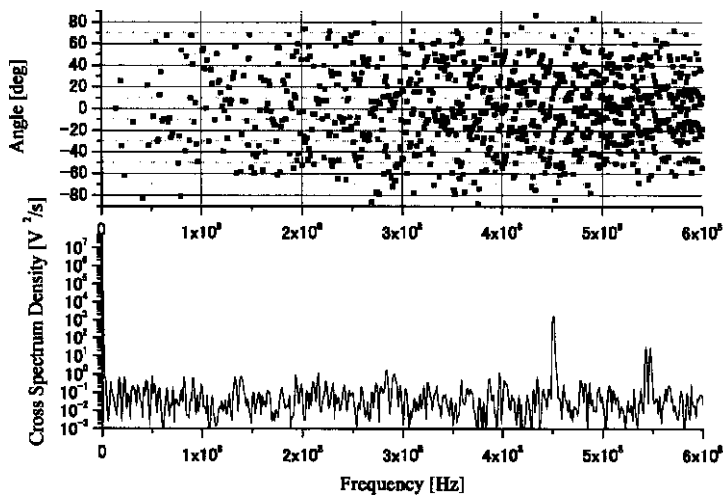


【図2】



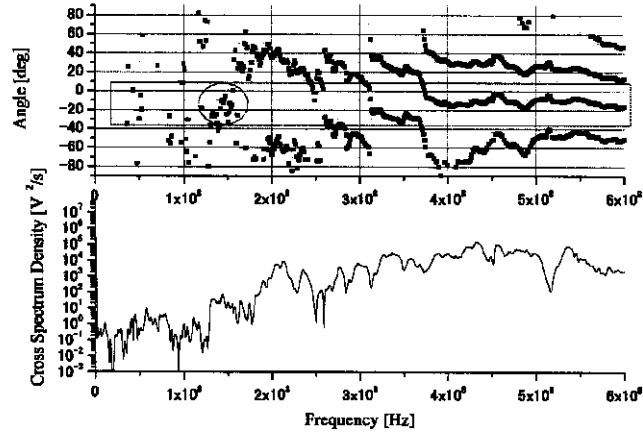
超広帯域VHF/UHF電波干渉計システム

【図4】

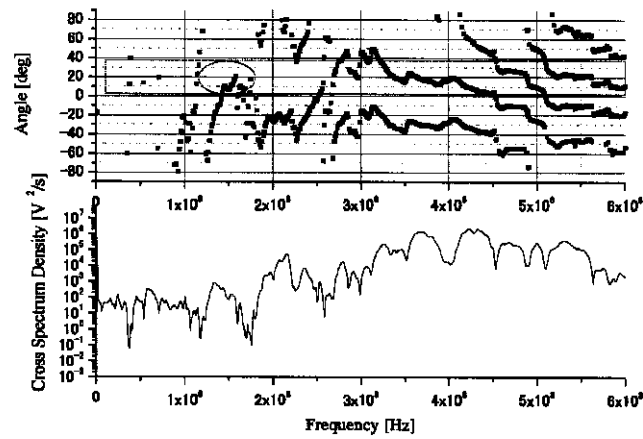


【 図 3 】

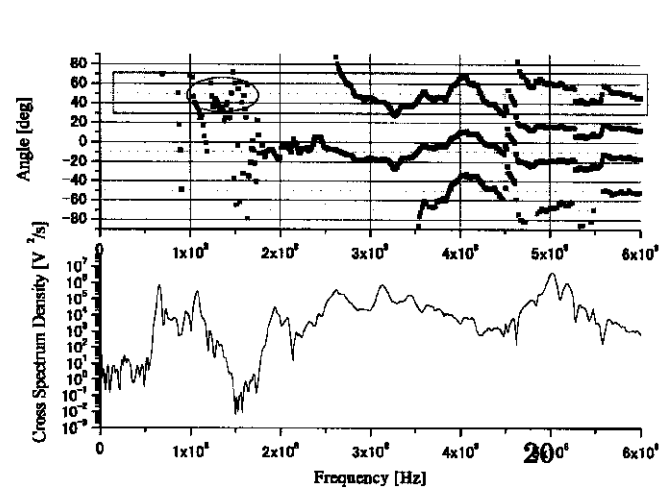
( a )



( b )



( c )



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

// G 0 1 S 3/48

識別記号

F I

G 0 1 S 3/48

テ-マコ-ト(参考)