

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5259663号
(P5259663)

(45) 発行日 平成25年8月7日(2013.8.7)

(24) 登録日 平成25年5月2日(2013.5.2)

(51) Int.Cl. F I
H02H 3/28 (2006.01) H02H 3/28 W

請求項の数 4 (全 39 頁)

(21) 出願番号	特願2010-207379 (P2010-207379)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成22年9月15日(2010.9.15)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(65) 公開番号	特開2012-65445 (P2012-65445A)	(74) 代理人	100112656 弁理士 宮田 英毅
(43) 公開日	平成24年3月29日(2012.3.29)	(72) 発明者	小堺 康之 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝内
審査請求日	平成23年9月16日(2011.9.16)	(72) 発明者	伊瀬 恒太郎 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 計測装置およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物理量を入力する入力部と、
 クロックを発生し該クロックを計数したカウント値を出力するクロック出力部と、
 時刻情報を含む第1のメッセージを受信する受信部と、
 前記第1のメッセージに含まれる前記時刻情報と、該第1のメッセージを受信した際に
 前記クロック出力部から出力された前記カウント値とに基づいて、前記物理量を前記入力
 部から取得するタイミングを調整する調整部と、
 前記調整部で調整された前記タイミングで前記物理量の値を取得し、取得した前記物理
 量の値を含む第2のメッセージを生成する生成部と、
 前記第2のメッセージを前記第1のメッセージの送信元の機器に送信する送信部と
 を備え、
 前記調整部は、
 複数の前記機器に対する前記タイミングをそれぞれ求め、求められた該タイミングのう
 ち最も時刻の早いタイミングを次に前記物理量を取得するタイミングとする
 ことを特徴とする計測装置。

【請求項2】

前記調整部は、
 前記タイミングが示す間隔が、前記機器から送信された前記第1のメッセージに含まれ
 る前記時刻情報が示す時刻に換算して略一定間隔になるように調整する

10

20

ことを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

【請求項 3】

前記調整部は、

複数の機器それぞれに対する前記タイミングの間隔が予め決められた時間よりも短い場合に、該複数の機器それぞれに対するタイミングのうち何れか 1 を、前記物理量の値を取得するタイミングとする

ことを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

【請求項 4】

計測方法をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

前記計測方法は、

物理量を入力する入力ステップと、

クロックを発生し該クロックを計数したカウント値を出力するクロック出力ステップと

、時刻情報を含む第 1 のメッセージを受信する受信ステップと、

前記第 1 のメッセージに含まれる前記時刻情報と、該第 1 のメッセージを受信した際に前記クロック出力部から出力された前記カウント値とに基づいて、前記物理量を前記入力ステップにより取得するタイミングを調整する調整ステップと、

前記調整ステップで調整された前記タイミングで前記物理量の値を取得し、取得した前記物理量の値を含む第 2 のメッセージを生成する生成ステップと、

前記第 2 のメッセージを前記第 1 のメッセージの送信元の機器に送信する送信ステップと

を備え、

前記調整ステップは、

複数の前記機器に対する前記タイミングをそれぞれ求め、求められた該タイミングのうち最も時刻の早いタイミングを次に前記物理量を取得するタイミングとするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、計測装置およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

変電所は、電力を需要家に届ける役割を持つと同時に、漏電、地絡、機器の故障といった異常が起きた箇所を即時に遮断する保護システムを備える。異常を検知するために、変電所に備えられた多くの保護リレーが電力線に通る電気の電流、電圧値などの物理量を多数の箇所で頻繁に計測する。典型的な変電所における保護リレーは、建屋内に設置され、屋外に敷設された電力線の計測地点と複数のアナログケーブルで接続される。そのため、変電所には長距離で大量のケーブルが敷設される。

【0003】

一方、従来、デジタルネットワークを活用して変電所における大量のケーブルを削減する送電線保護システムが提案されている。このような送電線保護システムでは、電力線近くに設置される計測装置（マーキングユニットやブリック）が、複数のアナログケーブルで入力された物理量をデジタル化して、例えばイーサネット（登録商標）などのデジタルネットワークによる少量のケーブルを介して保護リレーへ送信する。デジタルネットワークを利用した保護システムは、ケーブル量を低減できるという利点がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】米国特許第 7 6 9 3 6 0 7 号明細書

【非特許文献】

【0005】

10

20

30

40

50

【非特許文献1】J.-C. Tournier, K. Weber, and C. Hoga, "Precise Time Synchronization on a High Available Redundant Ring Protocol," in Proc. IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication (ISPCS 2009), Brescia, Italy, Oct. 2009.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

一般に、1台の保護リレーは、複数地点における物理量の時系列データを解析して送電線などの異常を検知するため、測定タイミングを高精度に把握する必要がある。また、系統保護システム内における個々の保護リレーは、電力系統内の異なるエリアを監視するため、1箇所のエリアを管轄する保護リレーや計測装置に異常が起きても、他のエリアを管轄する機器はそれとは関係なく正常に動作することが望まれる。そこで、同様の考えから、時刻同期機能の障害が影響する可能性のある範囲を限定できることが望ましい。

10

【0007】

一方、保護リレーと計測装置とをケーブルで直接接続し、保護リレーからの信号を受信したタイミングで計測装置が物理量を計測する方法は、一台の保護リレーの時刻同期機能に障害が起きても他の保護リレーに影響が及ばない。しかしながら、通信しあう1台の保護リレーと1台の計測装置につき1本のケーブルを必要とする。また、伝送遅延を一定に保つためリングやスター型といったネットワークを構成できないため、大量のケーブルを必要とする。

20

【0008】

本発明は、時刻同期システムの高信頼性とネットワーク構成の柔軟性を兼ね備えた保護システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

第1の実施形態の計測装置は、物理量を入力する入力部と、クロックを発生しクロックを計数したカウント値を出力するクロック出力部と、時刻情報を含む第1のメッセージを受信する受信部と、第1のメッセージに含まれる時刻情報と、第1のメッセージを受信した際にクロック出力部から出力されたカウント値とに基づいて、物理量を入力部から取得するタイミングを調整する調整部と、調整部で調整されたタイミングで物理量の値を取得し、取得した物理量の値を含む第2のメッセージを生成する生成部と、第2のメッセージを第1のメッセージの送信元の機器に送信する送信部とを備え、調整部は、複数の機器に対するタイミングをそれぞれ求め、求められたタイミングのうち最も時刻の早いタイミングを次に物理量を取得するタイミングとすることを特徴とする。

30

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】第1の実施形態に係る計測装置を適用可能な送電線保護システムを示す図。

【図2】各計測装置と各保護リレーとの関係を示す図。

【図3】第1の実施形態に係る計測装置の構成を示すブロック図。

40

【図4】第1の実施形態によるテーブルのデータを示す図。

【図5】第1の実施形態に適用可能な保護リレーの構成を示す図。

【図6】物理量データフレームの送信処理を示すシーケンス図。

【図7】第1の実施形態の物理量データフレーム送信処理を示すフローチャート。

【図8】値l_samplingと値l_correctionとの関係を示す図。

【図9】各装置毎に次の計測までのクロック数が異なることを説明する図。

【図10】第1の実施形態の第1の変形例による送電線保護システムを示す図。

【図11】第1の実施形態の第2の変形例による送電線保護システムを示す図。

【図12】第1の実施形態の第3の変形例による計測装置の構成を示す図。

【図13-1】第1の実施形態の第4の変形例による計測装置の構成を示す図。

50

【図 13 - 2】第 1 の実施形態の第 4 の変形例による計測装置の構成を示す図。

【図 14】2 の計測装置の計測タイミングが異なることを説明する図。

【図 15】第 2 の実施形態に係る保護リレーの構成を示すブロック図。

【図 16】第 2 の実施形態によるテーブルのデータを示す図。

【図 17】物理量の時系列データの例を示す図。

【図 18】第 2 の実施形態に適用可能な計測装置の構成を示す図。

【図 19】物理量データフレームの送信処理を示すシーケンス図。

【図 20】物理量データフレームに基づく送電線異常の検証処理のフローチャート。

【図 21】第 2 の実施形態の第 1 の変形例による保護リレーの構成を示す図。

【図 22 - 1】第 2 の実施形態の第 2 の変形例による保護リレーの構成を示す図。

10

【図 22 - 2】第 2 の実施形態の第 2 の変形例による保護リレーの構成を示す図。

【図 23 - 1】第 2 の実施形態の第 3 の変形例による保護リレーの構成を示す図。

【図 23 - 2】第 2 の実施形態の第 3 の変形例による保護リレーの構成を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

(第 1 の実施形態)

第 1 の実施形態に係る計測装置は、物理量の送信先となる全ての保護リレーの時刻を把握する。また、保護リレー同士は、互いの時刻を同期しない。計測装置は、物理量を計測するタイミングを、物理量の送信先である保護リレーの時刻に従って決定する。つまり、複数の計測装置が同じ保護リレーへ物理量を送信する場合、各計測装置は、保護リレーの時刻に基づき同じタイミングで物理量を計測する。また、1 台の計測装置が複数の保護リレーへ物理量を送信する場合、計測装置は、各保護リレー毎に異なるタイミングで物理量を計測する。

20

【0013】

このように構成された本第 1 の実施形態によれば、ある保護リレーの時刻に障害が発生した場合であっても、他の保護リレーに送信する物理量の計測タイミングが影響されないため、障害の波及を防止できる。

【0014】

以下では、第 1 の実施形態における計測タイミングの決定方法を詳細に説明する。図 1 に例示する送電線保護システムは、保護リレー 101 ~ 103、計測装置 104 ~ 109、遮断器 110 ~ 112、開閉器 113 ~ 115、送電線 116 ~ 118、母線保護リレー 130 を含む。

30

【0015】

保護リレー 101 ~ 103、計測装置 104 ~ 109、ならびに、母線保護リレー 130 は、例えばイーサネット（登録商標）などのデジタルネットワークに接続される。図 1 における保護リレー 101 ~ 103、計測装置 104 ~ 109、遮断器コントローラ 119 ~ 121、ならびに、母線保護リレー 130 は、リング型のネットワークを構成する。リング型のネットワークは、例えば国際標準規格 IEC 62439-3 (International Electrotechnical Commission 62439-3) が規定する Highly Availability Seamless Ring でもよいし、IEEE 802.5 (Institute of Electrical and Electronics Engineers 802.5)、IEEE 802.4、FDDI (Fiber Distributed Data Interface) といった MAC (Media Access Control) 方式に対応したネットワークでもよい。

40

【0016】

計測装置 104 ~ 109 は、それぞれ対応する送電線 116 ~ 118 に関する物理量を計測する。この例では、計測装置 104 および 105 が送電線 116 に関する物理量を計測し、計測装置 106 および 107 が送電線 117 に関する物理量を計測する。また、計測装置 108 および 109 が送電線 118 に関する物理量を計測する。

【0017】

計測装置 104 ~ 109 に計測される物理量は、例えば送電線 116 ~ 118 により送

50

電される電流の電流値および電圧値である。当該電流の交流周波数を物理量としてさらに計測してもよい。これに限らず、計測装置 104～109 は、計測ポイントにおける温度、湿度、圧力、風力量、水流量といった情報を物理量としてさらに測定してもよい。

【0018】

典型的な変電所では、通常、1つの計測装置が故障しても保護リレーが同じ位置の物理量を取得できるよう、それぞれ2箇所の物理量を計測する計測装置を2台設置し、物理量の計測手段を冗長化する。例えば、図1の例では、計測装置104、106および108が、それぞれ計測装置105、107および109と略同じ位置の物理量を計測する。なお、本第1の実施形態の実施に当たっては、このように計測装置を冗長化しなくてもよい。

10

【0019】

計測装置104～109は、図2に示す関係に従い、保護リレー101～103、ならびに、母線保護リレー130から、時刻を示す時刻情報を含むメッセージ（以下では、Syncメッセージと呼ぶ）をネットワークを介して受信する。保護リレー101～103、ならびに、母線保護リレー130は、Syncメッセージを送信する時刻を示す時刻情報を、当該Syncメッセージに対して記述する。

【0020】

例えば、計測装置104～109は、保護リレー101～103のうち対応する保護リレーから送信されたSyncメッセージを受信する。各計測装置104～109は、さらに、母線保護リレー130から送信されたSyncメッセージを受信する。すなわち、計測装置104～109は、複数の送信元からSyncメッセージを受信できる。また、保護リレー101～103、ならびに、母線保護リレー130は、それぞれ複数の送信先に対してSyncメッセージを送信できる。

20

【0021】

そして、計測装置104～109は、Syncメッセージに含まれる時刻情報を利用して計測タイミングを調整して物理量を計測し、図2に示す関係に従って保護リレー101～103および母線保護リレー130に対して物理量の値を含むメッセージ（以下では、物理量データフレームと呼ぶ）を送信する。

【0022】

ここで、計測装置104～109は、物理量を計測する計測タイミングを、送信先の保護リレーの時刻に換算したときに当該計測タイミングが等間隔になるように調整する。なお、計測装置104～109は、異なる保護リレー（例えば保護リレー101と母線保護リレー130）に対して送信する物理量の計測タイミングの間隔が予め決められた時間内であった場合、計測を一度で済ませてもよい。

30

【0023】

計測装置104および105は、保護リレー101に対して、計測装置106および107は保護リレー102に対して、計測装置108および109は保護リレー103に対して、それぞれ物理量データフレームを送信する。また、計測装置104～109は、それぞれ母線保護リレー130に対して物理量データフレームを送信する。計測装置104～109は、物理量データフレームをユニキャストで送信してもよいし、マルチキャスト

40

【0024】

保護リレー101～103は、計測装置104～109から受信した物理量データフレームに含まれる物理量を解析し、送電線における異常を検知する。異常を検知した場合、保護リレー101～103は、ネットワークを介してそれぞれ遮断器コントローラ119～121に遮断指令を送信する。また、典型的な変電所に本第1の実施形態を適用する場合、保護リレー101～103、ならびに、母線保護リレー130は、自身の時刻が記されたSyncメッセージをマルチキャストで定期的を送信する。この例に限らず、保護リレー101～103、ならびに、母線保護リレー130は、ユニキャストを用いてSyncメッセージを計測装置104～109に対し、図2に示す関係に従い定期的を送信してもよい。

50

【 0 0 2 5 】

なお、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3、計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9、ならびに、母線保護リレー 1 3 0 の対応関係は、図 2 に示す関係に限られるものではなく、他の組み合わせであってもよい。特に、各計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9 が物理量データフレームを送信する送信先の保護リレー数は、異なってもよい。この場合であっても、本第 1 の実施形態においては、各計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9 は、少なくとも、物理量データフレームの送信先である装置から Sync メッセージを受信する。

【 0 0 2 6 】

遮断器コントローラ 1 1 9 ~ 1 2 1 は、それぞれ対応する保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3 から遮断指令を受信すると、それぞれ対応する遮断器 1 1 0 ~ 1 1 2 に対して遮断信号を送る。遮断器コントローラ 1 1 9 ~ 1 2 1 と遮断器 1 1 0 ~ 1 1 2 との間は、それぞれアナログの制御ケーブルで接続される。遮断器 1 1 0 ~ 1 1 2 は、それぞれ送電線 1 1 6、1 1 7 および 1 1 8 を遮断する機能を備える。開閉器 1 1 3 ~ 1 1 5 は、保守などのために必要に応じて送電線 1 1 6 ~ 1 1 8 をそれぞれ開閉する機能を備える。

10

【 0 0 2 7 】

図 1 における計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9 が保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3 および母線保護リレー 1 3 0 の時刻を取得する方法は、特に限定されない。例えば、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3、計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9、ならびに、母線保護リレー 1 3 0 は、IEEE 1 5 8 8 または NTP (Network Time Protocol) に準拠した機能を備えてもよい。第 1 の実施形態では、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3、計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9、ならびに、母線保護リレー 1 3 0 が IEEE 1 5 8 8 の 1 s t e p 方式および Peer delay mechanism と呼ばれる方式に準拠する場合の例を説明する。

20

【 0 0 2 8 】

すなわち、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3、計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9、ならびに、母線保護リレー 1 3 0 が Sync メッセージを送信または転送する際に、推定される転送処理時間を示す情報を Sync メッセージに含める。また、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3、計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9、ならびに、母線保護リレー 1 3 0 は、隣接する機器へ Pdelay__Req メッセージを送信する機能、および隣接機器から Pdelay__Req メッセージを受信し、Pdelay__Response メッセージを返送する機能、および Pdelay__Response メッセージを受信し、隣接機器との間のケーブル中の伝送遅延時間を計算する機能を備える。

30

【 0 0 2 9 】

Pdelay__Req メッセージは、Pdelay__Req メッセージ送信時の時刻を示す情報が含まれる。また、Pdelay__Response メッセージには、Pdelay__Req メッセージ受信時の時刻および Pdelay__Response メッセージ送信時の時刻を示す情報が含まれる。

【 0 0 3 0 】

図 3 において、計測装置 5 0 0 は、図 1 における計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9 に該当する。本第 1 の実施形態に係る計測装置 5 0 0 は、通信インタフェース 5 0 1 および 5 0 2、ネットワーク処理部 5 0 3、MUX (マルチプレクサ) 5 0 5、DEMUX (デマルチプレクサ) 5 0 6、CPU (Central Processing Unit) 5 1 2、時刻計算部 5 1 3、記憶部 5 1 4、DMA (Direct Memory Access) コントローラ 5 1 6、水晶発振器 5 1 5、タイミング調整部 5 1 7、フレーム生成部 5 1 8、ならびに、A/D 変換部 5 1 9 を備える。

40

【 0 0 3 1 】

CPU 5 1 2 は、例えば汎用のプロセッサであり、記憶部 5 1 4 に記憶されたプログラムに従い、図示されない RAM (Random Access Memory) をワークメモリとして、この計測装置 5 0 0 の全体の動作を制御する。バス 5 3 0 は、CPU 5 1 2、時刻計算部 5 1 3、記憶部 5 1 4、DMA コントローラ 5 1 6、タイミング調整部 5 1 7 およびフレーム生成部 5 1 8 を、互いに通信可能にするために接続する。

【 0 0 3 2 】

水晶発振器 5 1 5 は、水晶を利用した、所定の周波数で発振する発振器と、当該発振器で発生した発振信号の発振数をカウントするクロックカウンタを含む。水晶発振器 5 1 5

50

から出力されるクロックカウンタの値から求めた時刻は、当該計測装置 5 0 0 における時刻を示す時刻情報に相当する。クロックカウンタは、ネットワーク処理部 5 0 3、時刻計算部 5 1 3 およびタイミング調整部 5 1 7 に供給される。

【 0 0 3 3 】

通信インタフェース 5 0 1 および 5 0 2 は、例えばイーサネット（登録商標）、無線 LAN (Local Area Network) といった通信方式に対応したインタフェースである。ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信方式に対応した MAC (Media Access Control) 処理を行い、入力されたフレームを適切な出力先のモジュールへ出力する。ネットワーク処理部 5 0 3 は、フレームの宛先およびフレームの入力元のモジュールに応じて、出力先のモジュールを選択する。より具体的には、ネットワーク処理部 5 0 3 は、MUX 5 0 5 から入力されたフレームを通信インタフェース 5 0 1 および 5 0 2 のうち少なくとも一方に出力する。

10

【 0 0 3 4 】

また、ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信インタフェース 5 0 1 または 5 0 2 から入力された、宛先アドレスが計測装置 5 0 0 であるフレームを DEMUX 5 0 6 に対して出力する。ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信インタフェース 5 0 1 から入力された、宛先アドレスがユニキャストアドレスであり且つ宛先アドレスが計測装置 5 0 0 ではないフレームを、通信インタフェース 5 0 2 へ出力する。同様に、ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信インタフェース 5 0 2 から入力された、宛先アドレスがユニキャストアドレスであり且つ宛先アドレスが計測装置 5 0 0 ではないフレームを通信インタフェース 5 0 1 へ出力する。

20

【 0 0 3 5 】

さらに、ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信インタフェース 5 0 1 から入力された、宛先アドレスがマルチキャストアドレスであるフレームを、通信インタフェース 5 0 2 および DEMUX 5 0 6 に対して出力する。同様に、ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信インタフェース 5 0 2 から入力された、宛先アドレスがマルチキャストアドレスであるフレームを、通信インタフェース 5 0 1 および DEMUX 5 0 6 に対して出力する。

【 0 0 3 6 】

なお、ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信インタフェース 5 0 1 または 5 0 2 から入力されたフレームのうち、一度受信した同一のフレームを破棄することができる。

30

【 0 0 3 7 】

ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信インタフェース 5 0 1 または 5 0 2 におけるフレームの入出力時に、水晶発振器 5 1 5 のクロックカウンタを、当該入出力時の時刻を示すタイムスタンプとして保持する。MUX 5 0 5 は、複数のモジュールの何れかからフレームを取得し、転送する。DEMUX 5 0 6 は、Syncメッセージを時刻計算部 5 1 3 へ出力すると共に、少なくともSyncメッセージ以外のフレームをDMAコントローラ 5 1 6 に転送する。

【 0 0 3 8 】

これに限らず、DEMUX 5 0 6 は、Syncメッセージを時刻計算部 5 1 3 およびDMAコントローラ 5 1 6 へ出力してもよい。また、DEMUX 5 0 6 は、Pdelay_ReqメッセージおよびPdelay_Responseメッセージを、時刻計算部 5 1 3 およびDMAコントローラ 5 1 6 の少なくとも一方に出力してもよい。

40

【 0 0 3 9 】

時刻計算部 5 1 3 は、入力されたSyncメッセージに含まれる、Syncメッセージを送信した時刻を示す時刻情報を利用して、Syncメッセージの送信元である保護リレーのクロックによる時刻を計算する。また、時刻計算部 5 1 3 は、記憶部 5 1 4 に、保護リレーの時刻を水晶発振器 5 1 5 のクロックカウンタの値に変換するためのパラメータ（以下では、変換パラメータと呼ぶ）を保存する。

【 0 0 4 0 】

記憶部 5 1 4 は、例えば不揮発性の半導体メモリやハードディスクドライブなどからな

50

り、CPU 512が動作するためのプログラムが記憶される。記憶部514は、さらに、当該計測装置500の通信先の保護リレーのアドレスと、上述の変換パラメータと、物理量の計測頻度と、計測開始時のクロックカウンタの値とで構成されるレコードを、少なくとも1つ以上含むテーブルを保持する。

【0041】

図4に例示するデータは、保護リレーまたは母線保護リレー毎のレコードからなるテーブルとして記憶部514に保存される。各レコードは、インデックスで識別される。保護リレーのアドレスは、当該計測装置500が保護リレーにアクセスする際に用いるアドレスであって、例えばイーサネット（登録商標）のMACアドレスを用いることができる。これに限らず、保護リレーのアドレスとして、保護リレーのIP(Internet Protocol)アドレスを用いてもよい。

10

【0042】

変換パラメータは、例えば、保護リレーの時刻で換算した水晶発振器515の周波数（換算周波数と呼ぶ）、Syncメッセージ受信時における保護リレーの推定時刻、ならびに、Syncメッセージ受信時における水晶発振器515のクロックカウンタの値である。換算周波数は、例えば、2のSyncメッセージに含まれる時刻情報の差分と、当該2のSyncメッセージを通信インタフェース501または502で受信した際にネットワーク処理部503に保持されたタイムスタンプの差分との比に基づき算出することができる。

【0043】

なお、換算周波数は、保護リレーにおける時刻の進行速度と、計測装置500における時刻の進行速度との違いを表す。換言すれば、換算周波数と水晶発振器515に規定の発振周波数とを比較することで、保護リレーにおいて時刻を計測するクロックにより規定される1秒と、計測装置500における水晶発振器515から出力されるクロックカウンタにより規定される1秒との違いを知ることができる。

20

【0044】

図4の例では、変換パラメータとして、さらに物理量の計測頻度と計測開始時のクロックカウンタとが含まれている。物理量の計測頻度は、例えば保護リレーの時刻で換算した1秒あたりに、当該計測装置500が物理量を計測する回数である。計測開始時のクロックカウンタは、予め設定されるかまたは保護リレーから通知された、保護リレーの時刻を水晶発振器515のクロックカウンタに変換した値である。計測装置500は、クロックカウンタの値がこの計測開始時のクロックカウンタで指定された値になると、計測動作を開始する。

30

【0045】

DMAコントローラ516は、CPU512が生成したフレームをMUX505に対して出力すると共に、DEMUX506から入力されたフレームを記憶部514に記憶させる。タイミング調整部517は、当該計測装置500における物理量の計測タイミングを決定する。また、タイミング調整部517は、内部に次の物理量の計測タイミングまでのクロック数を保持するカウンタを備える。

【0046】

A/D変換部519は、外部の装置で計測された物理量のアナログ信号（物理量信号）を、デジタルデータによる物理量に変換する。このA/D変換部519は、本第1の実施形態における計測部に該当する。フレーム生成部518は、タイミング調整部517から計測タイミングを示す信号を受けたときに、A/D変換部519からデジタル化された物理量を取得し、この物理量の値を含む物理量データフレームを生成する。生成された物理量データフレームは、MUX505に対して出力される。

40

【0047】

図5に示される保護リレー1400'は、図1で示した保護リレー101~103、ならびに、母線保護リレー130に相当する。保護リレー1400'は、通信インタフェース1401および1402、ネットワーク処理部1403、水晶発振器1404、DEMUX1405、MUX1406、CPU1407、DMAコントローラ1408、時刻提

50

供部 2 2 0 9、リレー演算部 1 4 1 1、ならびに、記憶部 1 4 1 2 を備える。

【 0 0 4 8 】

C P U 1 4 0 7 は、例えば汎用のプロセッサであり、記憶部 1 4 1 2 に記憶されたプログラムに従い、同じく図示されない R A M をワークメモリとして、この保護リレー 1 4 0 0 ' の全体の動作を制御する。バス 1 4 3 0 は、C P U 1 4 0 7、時刻提供部 2 2 0 9、記憶部 1 4 1 2、D M A コントローラ 1 4 0 8 およびリレー演算部 1 4 1 1 を、互いに通信可能に接続する。

【 0 0 4 9 】

なお、通信インタフェース 1 4 0 1 および 1 4 0 2、ネットワーク処理部 1 4 0 3、水晶発振器 1 4 0 4 および D M A コントローラ 1 4 0 8 は、図 3 を用いて説明した計測装置 5 0 0 における通信インターフェイス 5 0 1 および 5 0 2、ネットワーク処理部 5 0 3、水晶発振器 5 1 5 および D M A コントローラ 5 1 6 それぞれのモジュールと同等であるので、ここでの詳細な説明を省略する。

10

【 0 0 5 0 】

保護リレー 1 4 0 0 ' において、D E M U X 1 4 0 5 は、通信インターフェイス 1 4 0 1 または 1 4 0 2 で受信した Pdeley__Response メッセージおよび Pdeley__Req メッセージを時刻提供部 2 2 0 9 に転送する。また、D E M U X 1 4 0 5 は、通信インターフェイス 1 4 0 1 または 1 4 0 2 で受信した物理量データフレームを、D M A コントローラ 1 4 0 8 に転送する。D M A コントローラ 1 4 0 8 は、D E M U X 1 4 0 5 から転送された物理量データフレームを C P U 1 4 0 7 およびリレー演算部 1 4 1 1 に転送する。

20

【 0 0 5 1 】

M U X 1 4 0 6 は、D M A コントローラ 1 4 0 8、時刻提供部 2 2 0 9 およびリレー演算部 1 4 1 1 からフレームを取得し、ネットワーク処理部 1 4 0 3 に転送する。

【 0 0 5 2 】

時刻提供部 2 2 0 9 は、水晶発振器 1 4 0 4 から出力されるクロックカウンタに基づき、定期的に Sync メッセージを生成する。生成された Sync メッセージは、M U X 1 4 0 6 を介してネットワーク処理部 1 4 0 3 に転送され、通信インタフェース 1 4 0 1 または 1 4 0 2 により送信される。

【 0 0 5 3 】

また、時刻提供部 2 2 0 9 は、Pdeley__Req メッセージおよび Pdeley__Response メッセージを生成する。生成された Pdeley__Req メッセージおよび Pdeley__Response メッセージは、M U X 1 4 0 6 を介してネットワーク処理部 1 4 0 3 に転送され、通信インタフェース 1 4 0 1 または 1 4 0 2 により送信される。さらに、時刻提供部 2 2 0 9 は、通信インタフェース 1 4 0 1 または 1 4 0 2 により受信され、ネットワーク処理部 1 4 0 3 および D E M U X 1 4 0 5 を介して転送された Pdeley__Req メッセージおよび Pdeley__Response メッセージを処理する。

30

【 0 0 5 4 】

記憶部 1 4 1 2 は、例えばハードディスクドライブや不揮発性の半導体メモリからなり、C P U 1 4 0 7 が動作するためのプログラムが記憶される。記憶部 1 4 1 2 は、さらに、送信先の計測装置それぞれに対する計測装置のアドレスを保持すると共に、通信インタフェース 1 4 0 1 または 1 4 0 2 で、複数の計測装置からそれぞれ受信した物理量データフレームに含まれる物理量の値を保持する。リレー演算部 1 4 1 1 は、記憶部 1 4 1 2 に保持した複数の物理量情報を用いて、送電線における異常を検証する。

40

【 0 0 5 5 】

次に、本第 1 の実施形態に係る計測装置の処理を説明する。図 6 は、計測装置 1 0 4 が保護リレー 1 0 1 に物理量の値を記述した物理量データフレームを送信する際の一例の処理を示す。図 1 の例では、計測装置 1 0 4 から出力された物理量データフレームは、計測装置 1 0 5 を介して保護リレー 1 0 1 に受信されることになる。

【 0 0 5 6 】

図 6 に示すシーケンスは、第 1、第 2 および第 3 の、3 のシーケンスに分類される。第

50

1のシーケンスは、保護リレー101が定期的送信したSyncメッセージを計測装置104が受信し、計測装置104は、受信したSyncメッセージに基づき保護リレー101の時刻を把握する。第2のシーケンスは、計測装置105および計測装置104が隣接する機器との間のケーブル中における通信遅延を定期的測定する。第3のシーケンスは、計測装置104が保護リレー101に対し、物理量データフレームを定期的送信する。

【0057】

なお、これら第1～第3のシーケンスは、それぞれ独立したタイミングで実行されてもよく、第1～第3のシーケンスがどのような順番で行われてもよい。また、本第1の実施形態では、第2のシーケンスの実行を省略することができる。第2のシーケンスは、Syncメッセージの通信遅延を高精度に計測するために実行される。高精度に通信遅延を計測することで、計測装置は、保護リレー側の時刻を高精度に把握することができる。高精度が必要ない場合、計測装置は、第2のシーケンスの実行を省略可能である。

10

【0058】

先ず、第1のシーケンスについて説明する。保護リレー101は、Syncメッセージ701をネットワークに対して送信する(ステップS751)。このSyncメッセージ701の宛先アドレスは、計測装置104のアドレス若しくはマルチキャストアドレスである。このSyncメッセージ701は、ステップS752で計測装置105に受信される。

【0059】

計測装置105は、ステップS752で受信したSyncメッセージ701を、計測装置104に転送する。ステップS752におけるSyncメッセージ701の転送処理を、図3を参照しながら説明する。計測装置105(計測装置500)において、通信インタフェース501がSyncメッセージ701を受信したと想定する。通信インタフェース501は、受信したSyncメッセージ701をネットワーク処理部503に対して出力する。ネットワーク処理部503は、水晶発振器515から出力されたクロックカウンタの値を、タイムスタンプとして取得する。

20

【0060】

Syncメッセージ701の宛先アドレスは、計測装置104のアドレス若しくはマルチキャストアドレスであるため、ネットワーク処理部503は、Syncメッセージ701を通信インタフェース502へ出力する。Syncメッセージ701の宛先アドレスがマルチキャストアドレスの場合、ネットワーク処理部503は、さらにDEMUX506に対してSyncメッセージ701を出力する。通信インタフェース502は、ネットワーク処理部503から受け取ったSyncメッセージ701を、ネットワークに対して出力する。

30

【0061】

なお、ネットワーク処理部503は、Syncメッセージ701の推定される転送処理時間D_{trans}と、Syncメッセージ701のCorrectionフィールドに記載された値D_{old_correction}と、計測装置105と保護リレー101との間の通信遅延D_{pdelay}とを用いて、下記の式(1)に従い値D_{new_correction}を計算し、結果をSyncメッセージ701のCorrectionフィールドに含めてもよい。なお、転送処理時間D_{trans}は、予め決められた値を用いてもよい。

$$D_{\text{new_correction}} = D_{\text{trans}} + D_{\text{old_correction}} + D_{\text{pdelay}} \quad \dots (1)$$

40

【0062】

また、ネットワーク処理部503は、通信インタフェース502にフレームを出力する直前且つ転送処理時間を計算する際に、水晶発振器515のクロックカウンタC_{trans}を取得し、通信インタフェース501からフレームが入力されたときのタイムスタンプC_{in}と、予め決められたCorrectionフィールドの処理時間D_{proc_correction}、予め決められた水晶発振器515の周波数fを用いて、下記の式(2)を用いて転送処理時間D_{trans}を計算してもよい。

$$D_{\text{trans}} = f \times (C_{\text{trans}} - C_{\text{in}} + D_{\text{proc_correction}}) \quad \dots (2)$$

【0063】

以上がステップS752における計測装置105の処理である。

50

【 0 0 6 4 】

計測装置 1 0 4 は、ステップ S 7 5 3 で Sync メッセージ 7 0 1 を受信する。ステップ S 7 5 3 における Sync メッセージ 7 0 1 の受信処理を、図 3 を参照しながら説明する。計測装置 1 0 4 (計測装置 5 0 0) において、通信インタフェース 5 0 1 が Sync メッセージ 7 0 1 を受信したと想定する。通信インタフェース 5 0 1 は、Sync メッセージ 7 0 1 をネットワーク処理部 5 0 3 に対して出力する。ネットワーク処理部 5 0 3 は、水晶発振器 5 1 5 から出力されるクロックカウンタを、タイムスタンプとして取得する。

【 0 0 6 5 】

Sync メッセージ 7 0 1 の宛先アドレスは、計測装置 1 0 4 のアドレス若しくはマルチキャストアドレスであるため、ネットワーク処理部 5 0 3 は、Sync メッセージ 7 0 1 を D E M U X 5 0 6 に対して出力する。Sync メッセージ 7 0 1 の宛先アドレスがマルチキャストアドレスの場合、ネットワーク処理部 5 0 3 は、さらに通信インタフェース 5 0 2 に対して Sync メッセージ 7 0 1 を出力する。その後の処理は、上述したステップ S 7 5 2 における処理と同様である。

【 0 0 6 6 】

次に、D E M U X 5 0 6 は、Sync メッセージ 7 0 1 の出力先を決定する。D E M U X 5 0 6 は、入力されたフレームが Sync メッセージ 7 0 1 である場合に、当該フレームを時刻計算部 5 1 3 に出力し、それ以外のフレームを全て D M A コントローラ 5 1 6 へ出力する。この場合は、入力されたフレームが Sync メッセージ 7 0 1 であるため、D E M U X 5 0 6 は、当該 Sync メッセージ 7 0 1 を時刻計算部 5 1 3 に対して出力する。

【 0 0 6 7 】

時刻計算部 5 1 3 は、ネットワーク処理部 5 0 3 から、Sync メッセージ 7 0 1 受信時のクロックカウンタを取得する。そして、時刻計算部 5 1 3 は、水晶発振器 5 1 5 の発振周波数を保護リレー 1 0 1 のクロックで換算した換算周波数を計算する。より具体的には、時刻計算部 5 1 3 は、Sync メッセージ 7 0 1 に記述される Sync メッセージ 7 0 1 の送信時刻 T_sync_send 、記憶部 5 1 4 に保存していた前回受信した Sync メッセージの送信時刻、Sync メッセージ 7 0 1 受信時にネットワーク処理部 5 0 3 にタイムスタンプとして保持されたクロックカウンタ、ならびに、前回の Sync メッセージ受信時にタイムスタンプとして保持したクロックカウンタを用い、さらに Sync メッセージ 7 0 1 の通信遅延 D_sync を用いて換算周波数を計算する。

【 0 0 6 8 】

なお、Sync メッセージ 7 0 1 の通信遅延 D_sync は、予め決められた値でもよい。これに限らず、Sync メッセージ 7 0 1 の通信遅延 D_sync は、Sync メッセージ 7 0 1 の Correction フィールドに記された値でもよい。さらに、Sync メッセージ 7 0 1 の通信遅延 D_sync は、Sync メッセージ 7 0 1 の Correction フィールドに記された値に、第 2 のシーケンスで計測した計測装置 1 0 5 と計測装置 1 0 4 との間の通信遅延を加えた値でもよい。

【 0 0 6 9 】

時刻計算部 5 1 3 は、保護リレー 1 0 1 のクロックで換算した換算周波数を、例えば P I (Proportional-Integral) 制御、回帰解析、線形計画法などの方法で計算することができる。なお、時刻計算部 5 1 3 は、換算周波数を計算するために、今回および前回の Sync メッセージ受信時の Sync メッセージの受信時刻およびクロックカウンタだけでなく、それ以前に受信した 1 以上の Sync メッセージの受信時刻およびクロックカウンタの値を記憶部 5 1 4 に保存し、利用してもよい。これにより回帰解析、線形計画法などの方法を用いる場合に、換算周波数を精度良く推測できる。

【 0 0 7 0 】

時刻計算部 5 1 3 は、水晶発振器 5 1 5 の発振周波数を保護リレー 1 0 1 のクロックで換算した換算周波数を、記憶部 5 1 4 に保存する。

【 0 0 7 1 】

また、時刻計算部 5 1 3 は、下記の式 (3) を用いて Sync メッセージ 7 0 1 受信時の保護リレー 1 0 1 の時刻 $T_sync_est_recv$ を計算し、記憶部 5 1 4 に保存する。

$T_sync_est_recv = T_sync_send + D_sync \quad \dots (3)$

【 0 0 7 2 】

さらに、時刻計算部 5 1 3 は、Syncメッセージ 7 0 1 受信時のクロックカウンタを、記憶部 5 1 4 に保存する。以上が、ステップ S 7 5 3 における計測装置 1 0 4 の処理である。

【 0 0 7 3 】

次に、第 2 のシーケンスについて説明する。第 2 のシーケンスでは、隣接機器間の遅延を測定する。計測装置 1 0 5 および計測装置 1 0 4 は、定期的に Pdelay__Reqメッセージを隣接する機器に送信し、隣接する機器から送信された Pdelay__Responseメッセージを受信する。図 6 では、計測装置 1 0 4 が計測装置 1 0 5 との間の通信遅延を計測し、計測装置 1 0 5 が保護リレー 1 0 1 との間の通信遅延を計測する様子が示されている。何れも処理方法は同じであるため、ここでは、計測装置 1 0 4 と計測装置 1 0 5 との間の通信遅延を計測する方法について説明する。

10

【 0 0 7 4 】

計測装置 1 0 4 は、ステップ S 7 5 4 で Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 を送信する。このステップ S 7 5 4 における処理を、図 3 を参照しながら説明する。計測装置 1 0 4 (計測装置 5 0 0) の時刻計算部 5 1 3 は、Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 を生成する。M U X 5 0 5 は、時刻計算部 5 1 3 から Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 を取得し、ネットワーク処理部 5 0 3 に対して出力する。ネットワーク処理部 5 0 3 は、Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 の推定される送信時刻を、水晶発振器 5 1 5 のクロックカウンタの値を用いて計算し、当該送信時刻を示す推定送信時刻情報を Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 に記述する。

20

【 0 0 7 5 】

ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信インタフェース 5 0 1 および通信インタフェース 5 0 2 のうち少なくとも一方に対して Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 を出力する。通信インタフェース 5 0 1 および/または通信インタフェース 5 0 2 は、Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 をネットワークに対して出力する。以上がステップ S 7 5 4 における計測装置 1 0 4 の処理である。

【 0 0 7 6 】

計測装置 1 0 5 は、ステップ S 7 5 5 で、Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 を受信する。ステップ S 7 5 5 における計測装置 1 0 5 の処理を、図 3 を参照しながら説明する。なお、計測装置 1 0 5 は、通信インタフェース 5 0 2 で Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 を受信したと想定する。通信インタフェース 5 0 2 は、受信した Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 を、ネットワーク処理部 5 0 3 に対して出力する。

30

【 0 0 7 7 】

次に、ネットワーク処理部 5 0 3 は、Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 が入力されたときのクロックカウンタを、水晶発振器 5 1 5 から取得する。ネットワーク処理部 5 0 3 は、D E M U X 5 0 6 に対して Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 を出力する。D E M U X 5 0 6 は、この Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 を、時刻計算部 5 1 3 に対して出力する。時刻計算部 5 1 3 は、Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 に応じて、Pdelay__Responseメッセージ 7 0 6 を生成する。そして、時刻計算部 5 1 3 は、Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 受信時のクロックカウンタをネットワーク処理部 5 0 3 から取得する。

40

【 0 0 7 8 】

次に、時刻計算部 5 1 3 は、Pdelay__Responseメッセージ 7 0 6 に対し、Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 に記述された、Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 の送信時刻および Pdelay__Reqメッセージ 7 0 5 の受信時刻を記述する。時刻計算部 5 1 3 は、Pdelay__Responseメッセージ 7 0 6 を M U X 5 0 5 に対して出力する。

【 0 0 7 9 】

M U X 5 0 5 は、時刻計算部 5 1 3 から出力された Pdelay__Responseメッセージ 7 0 6 を取得し、ネットワーク処理部 5 0 3 に対して出力する。ネットワーク処理部 5 0 3 は、

50

Pdelay_Responseメッセージ706の推定される送信時刻を、Pdelay_Responseメッセージ706に対して記述する。ネットワーク処理部503は、通信インタフェース502に対してPdelay_Responseメッセージ706を出力する。通信インタフェース502は、Pdelay_Responseメッセージ706を送信する。以上が、ステップS755における処理である。

【0080】

計測装置104は、ステップS756で、Pdelay_Responseメッセージ706を受信する。ステップS756における計測装置104の処理を、図3を参照しながら説明する。なお、計測装置104は、Pdelay_Responseメッセージ706を通信インタフェース501で受信したものと想定する。通信インタフェース501は、受信したPdelay_Responseメッセージ706を、ネットワーク処理部503に対して出力する。ネットワーク処理部503は、Pdelay_Responseメッセージ706が入力されたときの水晶発振器515のクロックカウンタを取得する。そして、ネットワーク処理部503はDEMUX506に対してPdelay_Responseメッセージ706を出力する。

10

【0081】

DEMUX506は、時刻計算部513に対してPdelay_Responseメッセージ706を出力する。時刻計算部513は、Pdelay_Reqメッセージ705の送信時刻Pd_req_sendと、Pdelay_Reqメッセージ705の受信時刻Pd_req_rcvと、Pdelay_Responseメッセージ706の送信時刻Pd_resp_sendと、Pdelay_Responseメッセージ706の受信時刻Pd_resp_rcvとを用いて、通信遅延Pd_delayを、例えば下記の式(4)を用いて計算する。

20

$$Pd_delay = \{ (Pd_req_rcv - Pd_req_send) + (Pd_resp_rcv - Pd_resp_send) \} / 2 \quad \dots (4)$$

【0082】

時刻計算部513は、ステップS753において換算周波数を計算するとき、計測装置104と計測装置105との間の通信遅延D_pdelayとして、通信遅延Pd_delayを使用しよ。これに限らず、時刻計算部513は、過去に計算した1以上のPd_delayの値を用いて通信遅延Pd_delay、ならびに、計測装置104と計測装置105との間の通信遅延D_pdelayを求めてもよい。例えば、過去に計算した1以上の通信遅延Pd_delayの平均値を利用する方法がある。以上が、ステップS756における処理である。

30

【0083】

次に、第3のシーケンスについて説明する。第3のシーケンスでは、計測装置104が物理量の値を保護リレー101へ送信する。先ず、計測装置104は、ステップS757で、物理量データフレーム707をネットワークに対して送信する。

【0084】

ステップS757における計測装置104(計測装置500)の処理を、図3および図7を用いて説明する。タイミング調整部517は、内部に物理量の計測タイミングまでのクロック数を保持するダウンカウンタを備える(図示しない)。また、タイミング調整部517は、次に計測する物理量の送信先である装置(保護リレー)のレコードを指し示すインデックスを保持する。

40

【0085】

図7に示すステップS1201において、タイミング調整部517は、記憶部514に保存されたテーブルにおける、計測開始時のクロックカウンタの値から、現在の水晶発振器515のクロックカウンタの値を減じた値を、ダウンカウンタに設定する(ステップS1201)。

【0086】

タイミング調整部517は、ステップS1202で、水晶発振器515からクロックカウンタ信号を受信すると、ダウンカウンタの値が「0」であるか否かを判定する。判定の結果、若し、値が「0」より大きければ、処理をステップS1203に移行させてダウンカウンタの値を1だけ減じる。そして、当該計測装置104の動作が停止されていなければ

50

ば(ステップS 1 2 0 8)、処理をステップS 1 2 0 2に戻す。

【0087】

なお、計測装置104の動作の停止は、例えば作業員が当該計測装置104の動作を停止するなどの操作を表す。なお、この図7では、ステップS 1 2 0 8において計測装置104の動作が停止されているか否かを判定するように示されているが、動作停止の方法が電源OFFの場合、ここでの判定処理は行われない。

【0088】

一方、タイミング調整部517は、ステップS 1 2 0 2でダウンカウンタの値が「0」であると判定した場合、図7に示すステップS 1 2 0 4を実行する。ステップS 1 2 0 4において、タイミング調整部517は、フレーム生成部518に対してインデックスを出力する。フレーム生成部518は、タイミング制御部517からインデックスを入力されると、A/D変換部519からデジタル化された物理量を取得する。次に、フレーム生成部518は、物理量の値を記述した物理量データフレーム707を生成する(ステップS 1 2 0 5)。なお、フレーム生成部518は物理量データフレーム707の宛先アドレスを、インデックスが指し示すレコードが保持する保護リレーのアドレスに設定してもよい。MUX505は、フレーム生成部518から物理量データフレーム707を取得し、ネットワーク処理部503に対して出力する。

【0089】

なお、フレーム生成部518は、物理量データフレーム707に物理量の計測タイミングを示す情報を記述することができる。この計測タイミングを示す情報は、例えばネットワークに送信されるメッセージの順番を示すシーケンス番号であってよい。クロックカウンタに基づく時刻情報(タイムスタンプ)を、当該計測タイミングを示す情報として用いることも可能である。計測タイミングを示す情報を物理量データフレーム707に記述することで、複数の計測装置から物理データフレームを受信した保護リレーは、それぞれの物理データフレームに記載された物理量が計測されたタイミングの関係を把握できるため、計測装置は同一時刻における複数地点の物理量を比較できる。

【0090】

次のステップS 1 2 0 6で、ネットワーク処理部503は、通信インタフェース501および通信インタフェース502のうち少なくとも一方に対して、物理量データフレーム707を出力する。通信インタフェース501および/または通信インタフェース502は、この物理量データフレーム707を、ネットワークに対して送信する。

【0091】

タイミング調整部517は、インデックスをフレーム生成部518に対して出力した後、次回物理量を計測するタイミングを決定する(ステップS 1 2 0 7)。ステップS 1 2 0 7において、タイミング調整部517は、記憶部514に記憶されたそれぞれの保護リレーのレコードについて、対象となる保護リレー(例えば保護リレー101)のクロックで換算した水晶発振器515の周波数である換算周波数 $F_{oscillator}$ と、1秒間当たりの計測回数を示す計測頻度 $F_{sampling}$ とを用いて、下記の式(5)~(7)により以下の値 $I_{sampling}$ 、値 $N_{correction}$ および値 $I_{correction}$ を計算する。なお、関数 $Floor(x)$ は、値 x を越えない最大の整数を返す関数とする。

$$I_{sampling} = Floor(F_{oscillator} / F_{sampling}) \quad \dots (5)$$

$$N_{correction} = F_{oscillator} - I_{sampling} \times F_{sampling} \quad \dots (6)$$

$$I_{correction} = Floor(N_{correction} / I_{sampling}) \quad \dots (7)$$

【0092】

値 $I_{sampling}$ は、計測タイミングの間隔を水晶発振器515のクロック数で表した値である。ただし、値 $I_{sampling}$ は、クロック単位の値であって、関数 $Floor()$ で少数点以下を切り落とされた値である。そのため、水晶発振器515が値 $I_{sampling}$ の間隔で値 $F_{sampling}$ の回数計測する時間は、若干1秒に満たない可能性がある。そこで、タイミング調整部517は、所定の割合で計測タイミングの間隔を1クロック分補正する。値 $N_{correction}$ は、1秒当たりの補正回数を表す。値 $I_{correction}$ は、何回計測する毎に補正

10

20

30

40

50

するかを表す。

【 0 0 9 3 】

図 8 に値 $l_sampling$ および値 $l_correction$ の関係を示す。基本的に、計測タイミングの間隔は値 $l_correction$ である。しかし、値 $l_correction$ で示す回数計測する毎に、計測タイミングの間隔は値 $l_sampling + 1$ に補正される。

【 0 0 9 4 】

タイミング調整部 5 1 7 は、送信先の装置（例えば保護リレー 1 0 1 および 1 3 0）のそれぞれについて、次回の計測タイミングまでのクロック数 $C_next_sampling$ を、値 $N_correction$ および値 $l_correction$ を用いて計算する。そして、タイミング調整部 5 1 7 は、各送信先の装置に対するクロック数 $C_next_sampling$ のうち最も値が小さいクロック数 $C_next_sampling_min$ を求め、下記の式（ 8 ）を用いて、次回の計測タイミングまでのクロック数 $C_sampling$ を決定する。

$$C_sampling = C_next_sampling_min - (T_current - T_prev_sampling) \quad \dots (8)$$

【 0 0 9 5 】

なお、式（ 8 ）において、値 $T_current$ は、現在の水晶発振器 5 1 5 のクロックカウンタである。また、値 $T_prev_sampling$ は、タイミング調整部 5 1 7 がフレーム生成部 5 1 8 ヘインデックスを出力した時点での水晶発振器 5 1 5 のクロックカウンタである。つまり、値 $(T_current - T_prev_sampling)$ は、タイミング調整部 5 1 7 が演算に要する時間を表す。

【 0 0 9 6 】

値 $C_sampling$ が予め決められた時間よりも短い場合、タイミング調整部 5 1 7 は次の計測タイミングと今回の計測タイミングを統合してもよい。

【 0 0 9 7 】

図 9 を用いてタイミング調整部 5 1 7 が計測タイミングを統合してもよい場合を説明する。図 9（ a ）および図 9（ b ）は、例えば、それぞれ保護リレー 1 0 1 および母線保護リレー 1 3 0 に対して送信する物理量を計測する計測タイミングを示すものとする。保護リレー 1 0 1 および母線保護リレー 1 3 0 それぞれに搭載される水晶発振器 1 4 0 4 や、計測装置 1 0 4 に搭載される水晶発振器 5 1 5 の発振周波数は、周辺温度などの変化により、誤差を含む可能性がある。また、保護リレー 1 0 1 および母線保護リレー 1 3 0 が要求する物理量の計測間隔が異なる可能性がある。

【 0 0 9 8 】

この例では、図 9（ a ）に例示する保護リレー 1 0 1 に対する計測タイミングの方が、図 9（ b ）に例示する母線保護リレー 1 3 0 に対する計測タイミングよりも間隔が長くなっている。また、図 9（ a ）および図 9（ b ）において、各計測タイミングの間隔は補正される場合があるので、必ずしも一定になっていない。

【 0 0 9 9 】

そのため、保護リレー 1 0 1 および母線保護リレー 1 3 0 へ送信する物理量の計測間隔を、計測装置 1 0 4 の水晶発振器 5 1 5 のクロック数で表した値は、図 9（ c ）に例示するように、互いに異なる可能性がある。一方で、図 9（ c ）に統合箇所として例示するように、保護リレー 1 0 1 に対する測定タイミング 1 0 と、母線保護リレー 1 3 0 に対する測定タイミング 1 1 との間隔が極めて短くなる場合が発生する可能性がある。このような、測定タイミングの間隔が短い部分において、タイミング調整部 5 1 7 の演算時間が測定タイミングの間隔よりも長い場合、近接する測定タイミングにおける後側の測定が間に合わなくなるおそれがある。

【 0 1 0 0 】

そこで、タイミング調整部 5 1 7 は、保護リレー 1 0 1 に対して求められた次回の測定タイミング 1 0 と、母線保護リレー 1 3 0 に対して求められた測定タイミング 1 1 とを比較する。そして、測定タイミング 1 0 と測定タイミング 1 1 との間隔が予め決められた時間よりも短い場合、測定タイミング 1 0 においてインデックスをフレーム生成部 5 1 8 に出力した直後、母線保護リレー 1 3 0 のレコードのインデックスをフレーム生成部 5 1 8

10

20

30

40

50

へ出力してもよい。

【 0 1 0 1 】

また、物理量データフレーム 7 0 7 の宛先アドレスをマルチキャストアドレスに設定するシステムにおいて本第 1 の実施形態による計測装置を利用する場合、タイミング調整部 5 1 7 は、測定タイミング 1 1 と測定タイミング 1 0 との間隔が予め決められた時間よりも短い場合、測定タイミング 1 1 におけるインデックスのフレーム生成部 5 1 8 への出力を省略することができる。この場合、物理量データフレーム 7 0 7 の宛先アドレスがマルチキャストアドレスであれば、複数の機器が物理量データフレーム 7 0 7 を受信できる。上述の例では、保護リレー 1 0 1 および母線保護リレー 1 3 0 が同じ物理量データフレーム 7 0 7 を受信できる。

10

【 0 1 0 2 】

以上が、ステップ S 7 5 7 における計測装置 1 0 4 の処理である。

【 0 1 0 3 】

次に、図 6 に示すように、計測装置 1 0 5 が物理量データフレーム 7 0 7 を保護リレー 1 0 1 に対して転送する（ステップ S 7 5 8）。例えば、図 3 を参照し、計測装置 1 0 5（計測装置 5 0 0）が通信インタフェース 5 0 2 で物理量データフレーム 7 0 7 を受信したと想定した場合、通信インタフェース 5 0 2 は、ネットワーク処理部 5 0 3 に対して物理量データフレーム 7 0 7 を出力する。ネットワーク処理部 5 0 3 は、通信インタフェース 5 0 1 に対して物理量データフレーム 7 0 7 を出力する。通信インタフェース 5 0 1 は物理量データフレーム 7 0 7 をネットワークに対して送信する。

20

【 0 1 0 4 】

保護リレー 1 0 1 は、計測装置 1 0 5 から送信された物理量データフレーム 7 0 7 を受信する（ステップ S 7 5 9）。図 2 を用いて説明したように、計測装置 1 0 4 および計測装置 1 0 5 は、略同じタイミングで、保護リレー 1 0 1 に対して物理量データフレームを送信する。図 6 の例では、計測装置 1 0 4 で計測された物理量の値が記述された物理量データフレーム 7 0 7 が送信されるタイミングと略同一のタイミングで、計測装置 1 0 5 から、当該計測装置 1 0 5 で計測された物理量の値が記述された物理量データフレーム 7 0 8 が送信される。以上が、第 3 のシーケンスの処理である。

【 0 1 0 5 】

保護リレー 1 0 1 は、物理量データフレーム 7 0 7 および 7 0 8 を受信すると、受信した物理量データフレーム 7 0 7 および 7 0 8 に記述された物理量を比較することで、異常の有無を検査する。異常を検知した場合、保護リレー 1 0 1 は、遮断器コントローラ 1 1 9 に対して遮断指令を送信する。遮断器コントローラ 1 1 9 は、この遮断指令を受信すると、遮断器 1 1 0 に対して遮断信号を送出する。遮断器 1 1 0 は、この遮断信号を受信すると、送電線 1 1 6 の電流を遮断する。

30

【 0 1 0 6 】

以上のように、本第 1 の実施形態によれば、同じ保護リレーに物理量データフレームを送信する複数の計測装置は、同じ保護リレーの時刻を基にして物理量の計測タイミングを決定するため、同じタイミングで物理量を計測することができる。

【 0 1 0 7 】

また、本第 1 の実施形態の計測装置によれば、タイミング調整部 5 1 7 が例えば保護リレー 1 0 1 および母線保護リレー 1 3 0 といった複数の装置宛に送信する物理量の計測タイミングを決定できるため、変電所に時刻サーバを設置しなくてもよい。また、例えば保護リレー 1 0 1 が故障した場合、また、保護リレー 1 0 1 の時刻に異常が生じた場合であっても、計測装置 1 0 4 および計測装置 1 0 5 は、母線保護リレー 1 3 0 へ送信する物理量を測定するタイミングを正しく決定できる。したがって、本第 1 の実施形態に係る計測装置は、変電所の信頼性を向上できる。

40

【 0 1 0 8 】

さらに、本第 1 の実施形態に係る計測装置は、物理量データフレームの送信先であるそれぞれの保護リレー毎に PLL (Phase Locked Loop) を備える必要がない。記憶部 5 1

50

4の記憶領域に余裕がある限り、物理量データフレームの送信先の保護リレー数を柔軟に変更できる。本第1の実施形態の構成に対して、特許文献1が開示する、物理量の送信先の保護リレー毎に1のPLLを備えることで計測タイミングを決定する構成は、送信先の保護リレーの数がPLLの数に制限されてしまい、柔軟性に欠ける。

【0109】

典型的な変電所では、計測タイミングを調節する頻度は物理量を送信する頻度よりも低い。そこで、本第1の実施形態に係る保護リレーは、時刻に関するデータの送受信量を低減できる。なお、本第1の実施形態に係る計測装置は、複数の物理量を計測可能とするよう、物理量が入力されるA/D変換部を複数備えることができる。

【0110】

さらに、本第1の実施形態に係る計測装置は、物理量の入力信号がデジタル信号であっても物理量を計測可能とするよう、A/D変換部519の代わりにデジタル化された物理量の値を保持するための他の記憶部を備えていてもよい。この他の記憶部は、デジタル化された物理量の値が入力される度に、保持している過去の値を、新たな値で上書きしてよい。また、この他の記憶部に保持された物理量の値は、フレーム生成部518に取得される。

【0111】

また、本第1の実施形態に係る計測装置の時刻計算部513は、通信インタフェース501と通信インタフェース502との間で転送されるSyncメッセージを処理してもよい。この場合、Syncメッセージは、ネットワーク処理部503およびDEMUX506を経由して時刻計算部513に転送される。時刻計算部513は、推定される転送処理時間を計算し、その値をSyncメッセージに対して記述する。そして、時刻計算部513は、Syncメッセージを、図示されない送信キューからMUX505を介してネットワーク処理部503に転送する。

【0112】

ネットワーク処理部503は、このようにして転送されたSyncメッセージを、Syncメッセージを受信した通信インタフェースとは別の通信インタフェースから出力する。時刻計算部513にSyncメッセージの処理を全て集約することで、回路規模を低減できる。計測装置105は、計測装置104との間の通信遅延を計測してもよい。これにより、リング上のネットワークの何方の方向にSyncメッセージを転送する場合でも、Syncメッセージを受信した通信インタフェースに繋がった隣接する装置との間の通信遅延を、SyncメッセージのCorrectionフィールドに記述できる。

【0113】

(第1の実施形態の第1の変形例)

次に、本第1の実施形態の第1の変形例について説明する。本第1の実施形態による送電線保護システムは、図10に例示されるように、ダブルスター型のネットワークを用いても構成可能である。なお、図10において、上述した図1と共通する部分には同一の符号を付して、詳細な説明を省略する。

【0114】

図10の構成によれば、保護リレー101～103、計測装置104～109、遮断器コントローラ119～121、ならびに、母線保護リレー130は、それぞれ2の通信ポートを備え(例えば通信インタフェース501および502、ならびに、通信インタフェース1401および1402)、図の上側に示されるスター型ネットワークと、図の下側に示されるスター型ネットワークとによる、2の冗長化されたスター型のネットワークにそれぞれ接続される。図の上側のスター型ネットワークにおいては、保護リレー101～103、ならびに、母線保護リレー130がスイッチ(SW)122に接続される。同様に、計測装置104～109、ならびに、遮断機コントローラ119～121がスイッチ123に接続される。図の下側のスター型ネットワークにおけるスイッチ124および125についても、同様である。

【0115】

10

20

30

40

50

この図10に例示される構成では、保護リレー101～103、計測装置104～109、遮断器コントローラ119～121、ならびに、母線保護リレー130は、受信したフレームの宛先アドレスがマルチキャストアドレスである場合に、または自分のアドレスでない場合に、そのフレームを他の装置に転送しない。計測装置104～109は、送電線に接続された変流器（図示しない）および電圧計測用変圧器（図示しない）などから物理量を取得してその値をデジタル化し、保護リレー101～103、ならびに、母線保護リレー130の何れかに送信する。

【0116】

その他の動作に関しては、図1を用いて説明した第1の実施形態と同様であるので、詳細な説明を省略する。

10

【0117】

（第1の実施形態の第2の変形例）

次に、本第1の実施形態の第2の変形例について説明する。本第1の実施形態による送電線保護システムは、図11に例示されるように、上述した図10の構成から冗長性を省いた、シングルスター型のネットワークを用いても構成可能である。なお、図11において、上述した図1および図10と共通する部分には同一の符号を付して、詳細な説明を省略する。

【0118】

図11の構成によれば、保護リレー101'～103'、計測装置104'～109'、遮断器コントローラ119'～121'、ならびに、母線保護リレー130'は、それぞれ1の通信ポートを備えていればよい。メッセージやデータフレームの転送方法は、上述した第1の変形例と同様なので、詳細な説明を省略する。

20

【0119】

（第1の実施形態の第3の変形例）

次に、本第1の実施形態の第3の変形例について説明する。図12に例示される計測装置600は、図3を用いて説明した第1の実施形態による計測装置500から通信インタフェース502を省き、通信インタフェースを1個のみにした例である。なお、図12において、上述の図3と共通する部分には同一の符号を付して、詳細な説明を省略する。

【0120】

計測装置600は、通信インタフェース501が受信したフレームをDEMUX506に対して出力すると共に、MUX505に入力されたフレームを通信インタフェース501に出力する点が、図3に例示した計測装置500と異なる。また、計測装置600は、受信したフレームの宛先アドレスがマルチキャストアドレスである場合に、そのフレームを転送しない。

30

【0121】

この第3の変形例による計測装置600は、図11を用いて説明した、第2の変形例によるシングルスター型のネットワークで構成された送電線保護システムにおける計測装置104'～109'として用いることができる。

【0122】

（第1の実施形態の第4の変形例）

次に、本第1の実施形態の第4の変形例について説明する。図13-1に例示される計測装置700は、図3を用いて説明した第1の実施形態による計測装置500における一部の構成を、CPU512上で動作するソフトウェアで実現した例である。なお、図13-1および図13-2において、上述の図3と機能が共通する部分には同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

40

【0123】

この例では、計測装置700は、図13-1に示されるように、ハードウェアとしては通信インタフェース501および502、ネットワーク処理部503、CPU512、記憶部514、水晶発振器515、DMAコントローラ516、A/D変換部519、ならびに、バス530を備える。CPU512、記憶部514、DMAコントローラ516お

50

よび A/D変換部 519 は、バス 530 により互いに通信可能に接続される。

【0124】

そして、計測装置 700 は、図 13-2 に示されるように、MUX 505'、DEMUX 506'、時刻計算部 513'、タイミング調整部 517' およびフレーム生成部 518' が、CPU 512 上で実行される図示されない OS (Operating System) 上で動作するソフトウェアとしてそれぞれ構成される。これら MUX 505'、DEMUX 506'、時刻計算部 513'、タイミング調整部 517' およびフレーム生成部 518' は、それぞれ、図 3 のハードウェアとしての MUX 505、DEMUX 506、時刻計算部 513、タイミング調整部 517 およびフレーム生成部 518 と同等の機能を実現する、CPU 512 上で動作されるソフトウェアのモジュールとして構成される。

10

【0125】

MUX 505' および DEMUX 506' は、DMA コントローラ 516 にアクセスし、各種フレームの転送などを行う。フレーム生成部 518' は、A/D 変換部 519 にアクセスし、計測された物理量がデジタルデータとされた値を取り込む。

【0126】

例えば、MUX 505'、DEMUX 506'、時刻計算部 513'、タイミング調整部 517' およびフレーム生成部 518' を構成するためのプログラムは、記憶部 514 に記憶される。計測装置 700 の起動に伴い、CPU 512 は、ROM からプログラムを読み込んで実行することにより、各モジュールが図示されない RAM 上に展開され、MUX 505'、DEMUX 506'、時刻計算部 513'、タイミング調整部 517' およびフレーム生成部 518' が RAM 上に構成される。

20

【0127】

本第 4 の変形例の計測装置 700 で実行されるプログラムは、例えば記憶部 514 に予め記憶されて提供される。これに限らず、当該プログラムを、ネットワークを介して計測装置 700 に対して提供してもよい。この場合、例えば、プログラムを含むフレームが通信インタフェース 501 または 502 に受信され、ネットワーク処理部 503 および DMA コントローラ 516 を介して記憶部 514 に記憶される。

【0128】

これに限らず、当該プログラムを、インストール可能な形式または実行可能な形式のファイルで CD (Compact Disk)、フレキシブルディスク (FD)、DVD (Digital Versatile Disk) などのコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録されて提供されるようにもできる。この場合、バス 530 に対して記録媒体を読み取り可能なドライブ装置を接続する。そして、プログラムが記録された記録媒体をこのドライブ装置に装着し、記録媒体からプログラムを読み出して記憶部 514 に記憶させる。

30

【0129】

このように、計測装置 700 が有する一部の機能を CPU 512 上で動作するソフトウェアとして実装することで、ハードウェアで全てが構成される計測装置 500 に対し、回路規模を削減することができる。なお、本第 4 の変形例による計測装置 700 は、計測タイミングの調節と物理量の送信を別々のタイミングで行うことができる。これは、上述した第 1 の実施形態による計測装置 500 および第 3 の変形例による計測装置 600 においても同様である。

40

【0130】

さらに、本第 4 の変形例による計測装置 700 において、上述の第 3 の変形例による計測装置 600 の如く、通信インタフェース 502 を省略し 1 の通信インタフェース 501 のみを備える構成とすることもできる。

【0131】

(第 2 の実施形態)

第 2 の実施形態における計測装置は、計測装置に搭載された水晶発振器に従って定期的に物理量を計測し、物理量の値を記述したフレーム (物理量データフレーム) を、保護リレーおよび母線保護リレーに対して送信する。本第 2 の実施形態では、第 1 の実施形態に

50

おける計測装置とは異なり、保護リレーの時刻に従った計測タイミングを調整しない。したがって、複数の計測装置から同じ保護リレーに送信される物理量は、同じタイミングで計測されない可能性がある。

【 0 1 3 2 】

そこで、本第 2 の実施形態では、計測装置が、保護リレーおよび母線保護リレーに対し、計測装置の時刻を記述したフレーム（以下では、Syncメッセージ B と呼ぶ）を定期的な送信する。また、計測装置は、物理量データフレームに物理量の計測時刻を記述する。そして第 2 の実施形態に係る保護リレーおよび母線保護リレーは、それぞれの計測装置から受信した Syncメッセージ B に記述された時刻を用いて、物理量データフレームの送信元である全ての計測装置の時刻を把握する。また、保護リレーおよび母線保護リレーは、物理量データフレームに記述された物理量の計測時刻を自身の時刻に変換する。

10

【 0 1 3 3 】

以上により、本第 2 の実施形態による保護リレーおよび母線保護リレーは、複数の計測装置が物理量を計測した時刻の関係を把握する。例えば、1 の保護リレーに物理量データフレームを送信する 2 の計測装置 A および計測装置 B を考える。この場合、図 1 4 に示すように、計測装置 A における計測タイミング t_1 、 t_2 、... と、計測装置 B における計測タイミング t'_1 、 t'_2 、... とが互いに異なることが考えられる。

【 0 1 3 4 】

計測装置 A および計測装置 B それぞれから、計測装置 A と計測装置 B とで異なるタイミングで計測された物理量の値が記述された物理量データフレームが保護リレーに受信される。保護リレーは、計測装置 A における計測タイミング t_1 、 t_2 、... と、計測装置 B における計測タイミング t'_1 、 t'_2 、... とを、それぞれ保護リレーの時刻に換算することで、計測装置 A および計測装置 B それぞれの計測タイミングの関係を把握することができる。そこで、保護リレーは、計測装置 A および計測装置 B それぞれの物理量の値による時系列データを比較することで、過電流等の異常の有無を検証できる。

20

【 0 1 3 5 】

以下、第 2 の実施形態における送電線保護システムについて、より詳細に説明する。なお、本第 2 の実施形態に対し、上述した第 1 の実施形態における図 1、図 1 0 および図 1 1 を用いて説明したシステム構成をそのまま適用できるので、システム構成の説明を省略する。以下では、図 1 で示したリング型ネットワークを本第 2 の実施形態に適用したものと説明を行う。すなわち、第 2 の実施形態による送電線保護システムは、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3、計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9、遮断器 1 1 0 ~ 1 1 2、開閉器 1 1 3 ~ 1 1 5、送電線 1 1 6 ~ 1 1 8、母線保護リレー 1 3 0、ならびに、遮断器コントローラ 1 1 9 ~ 1 2 1 を含む。また、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3、計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9、母線保護リレー 1 3 0、ならびに、遮断器コントローラ 1 1 9 ~ 1 2 1 は、リング型ネットワークを構成する。

30

【 0 1 3 6 】

本第 2 の実施形態における計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9 は、例えば図 2 に示す関係に従い、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3、ならびに、母線保護リレー 1 3 0 に対して、物理量データフレームをネットワークを介して送信する。また、上述した第 1 の実施形態とは異なり、本第 2 の実施形態における計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9 は、例えば図 2 に示す関係に従い、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3、ならびに、母線保護リレー 1 3 0 に対して、時刻を記した Syncメッセージ B をネットワークを介して送信する。また、本第 2 の実施形態においては、上述した第 1 の実施形態とは異なり、保護リレー 1 0 1 ~ 1 0 3 および母線保護リレー 1 3 0 は、時刻を記述した Syncメッセージを計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9 に対して送信しなくてもよい。

40

【 0 1 3 7 】

計測装置 1 0 4 ~ 1 0 9 が物理量データフレームを送信する間隔は、それぞれの計測装置に搭載された水晶発振器に従った一定時間間隔であってもよいし、可変でもよい。ただし、送信先の保護リレーが物理量の変化を十分に把握できるよう、計測装置 1 0 4 ~ 1 0

50

9 は、十分な頻度で物理量を計測し、物理量データフレームを保護リレーへ送信する。また、計測装置 104 ~ 109 が Syncメッセージ B を送信する間隔は、それぞれの計測装置に搭載された水晶発振器に従った一定時間間隔であってもよいし、可変でもよい。

【0138】

また、典型的な変電所に本第2の実施形態を適用する場合、計測装置は、自身の時刻をマルチキャストで定期的に送信する。これに限らず、計測装置 104 ~ 109 は、ユニキャストを用いて自身の時刻を、図2に示す関係に従った保護リレーまたは母線保護リレーに対して定期的に送信してもよい。

【0139】

なお、保護リレー 101 ~ 103、計測装置 104 ~ 109、ならびに、母線保護リレー 130 の対応関係は、図2に示す関係に限られるものではなく、他の組み合わせであってもよい。特に、各計測装置 104 ~ 109 が物理量データフレームを送信する送信先の保護リレー数は、異なってもよい。この場合であっても、本第2の実施形態においては、各計測装置 104 ~ 109 は、少なくとも、物理量データフレームの送信先である保護リレー 101 ~ 103、または、母線保護リレー 130 に対して Syncメッセージ B を送信する。

【0140】

本第2の実施形態においては、保護リレー 101 ~ 103、ならびに、母線保護リレー 130 が計測装置 104 ~ 109 の時刻を取得する方法は、特に限定されない。例えば、保護リレー 101 ~ 103、計測装置 104 ~ 109、ならびに、母線保護リレー 130 は、IEEE 1588 または NTP に準拠した機能を備えてもよい。第2の実施形態では、保護リレー 101 ~ 103、計測装置 104 ~ 109、ならびに、母線保護リレー 130 が IEEE 1588 の 1 step 方式および Peer delay mechanism と呼ばれる方式に準拠する場合の例を説明する。

【0141】

すなわち、保護リレー 101 ~ 103、計測装置 104 ~ 109、ならびに、母線保護リレー 130 が Syncメッセージ B を送信または転送するとき、転送処理にかかる推定時間を Syncメッセージ B に記述する。また、保護リレー 101 ~ 103、計測装置 104 ~ 109、ならびに、母線保護リレー 130 は、隣接する機器へ Pdelay_Req メッセージを送信する機能、および隣接機器から Pdelay_Req メッセージを受信し、Pdelay_Response メッセージを返送する機能、および Pdelay_Response メッセージを受信し、隣接機器との間のケーブル中の伝送遅延時間を計算する機能を備える。

【0142】

Pdelay_Req メッセージは、Pdelay_Req メッセージ送信時の時刻を示す情報が記述される。また、Pdelay_Response メッセージには、Pdelay_Req メッセージ受信時の時刻および Pdelay_Response メッセージ送信時の時刻を示す情報が記述される。

【0143】

なお、第2の実施形態において、図1の保護リレー 101 ~ 103、計測装置 104 ~ 109、ならびに、母線保護リレー 130 以外の動作は、上述した第1の実施形態における動作と同様であるので、ここでの詳細な説明を省略する。

【0144】

図15において、保護リレー 1400 は、例えば図1に示した保護リレー 101 ~ 103、ならびに、母線保護リレー 130 に該当する。本第2の実施形態に係る保護リレー 1400 は、通信インタフェース 1401 および 1402、ネットワーク処理部 1403、MUX 1406、DEMUX 1405、CPU 1407、時刻計算部 1409、記憶部 1412、DMA コントローラ 1408、水晶発振器 1404、タイムスタンプ補正部 1410、ならびに、リレー演算部 1411 を備える。

【0145】

CPU 1407 は、例えば汎用のプロセッサであり、記憶部 1412 に記憶されたプログラムに従い、同じく図示されない RAM をワークメモリとして、この保護リレー 140

10

20

30

40

50

0の全体の動作を制御する。バス1430は、CPU1407、時刻計算部1409、記憶部1412、DMAコントローラ1408、タイムスタンプ補正部1410およびリレー演算部1411を接続することで、互いに通信可能にする。

【0146】

図15に示される通信インタフェース1401および1402、ネットワーク処理部1403、水晶発振器1404、CPU1407、ならびに、DMAコントローラ1408の動作は、例えば図3に示した計測装置500における通信インタフェース501および502、ネットワーク処理部503、水晶発振器515、CPU512、ならびに、DMAコントローラ516と同等であるので、ここでの詳細な説明を省略する。

【0147】

DEMUX1405は、ネットワーク処理部1403から出力されたSyncメッセージBを、時刻計算部1409に転送する。また、DEMUX1405は、ネットワーク処理部1403から出力された物理量データフレームを、タイムスタンプ補正部1410に転送する。さらに、DEMUX1405は、ネットワーク処理部1403から出力された他のメッセージを、DMAコントローラ1408に転送する。これに限らず、DEMUX1405は、SyncメッセージBおよび物理量データフレームのうち少なくとも一方を、さらにDMAコントローラ1416に対して出力してもよい。

【0148】

MUX1406は、DMAコントローラ1408、時刻計算部1409およびリレー演算部1411の何れかからフレームを取得し、ネットワーク処理部503に対して転送する。時刻計算部1409は、入力されたSyncメッセージBに記述されたSyncメッセージBの送信時刻を利用して、SyncメッセージBの送信元である計測装置のクロックの時刻を計算する。また、時刻計算部1409は、記憶部1412に対し、計測装置の時刻を保護リレー1400の時刻に変換するためのパラメータ(以下、変換パラメータBと呼ぶ)を保存する。

【0149】

タイムスタンプ補正部1410は、計測装置から受信した物理量データフレームに記述された計測時刻を、保護リレー1400の時刻に変換する。

【0150】

リレー演算部1411は、記憶部1412に保存した物理量の時系列データと、計測装置から受信した最新の物理量データフレームに記述された物理量と、当該物理量の計測時刻を保護リレー1400の時刻に変換した値とを用いて、送電線における異常を検証する。記憶部1412は、送信先の計測装置それぞれに対する計測装置のアドレス、変換パラメータBおよび物理量の時系列データを保持する。

【0151】

図16および図17は、記憶部1412が保持するデータの例を示す。図16は、計測装置の時刻を保護リレー1400の時刻に変換するために必要なデータの例を示す。このデータは、送信元の計測装置毎のレコードからなるテーブルとして記憶部1412に保存される。各レコードは、インデックスで識別される。計測装置のアドレスは、当該保護リレー1400が計測装置にアクセスする際に用いるアドレスであって、例えばイーサネット(登録商標)のMACアドレスや、IPアドレスを用いることができる。

【0152】

変換パラメータBは、例えばクロックレート、SyncメッセージB受信時の計測装置の時刻およびSyncメッセージB受信時のリレー1400の時刻を含む。クロックレートは、保護リレー1400における時刻の進行速度と、計測装置における時刻の進行速度との違いを表す。換言すれば、保護リレー1400における水晶発振器1404から出力されるクロックカウンタにより規定される例えば1秒と、計測装置において時刻を計測するクロックにより規定される1秒との違いを知ることができる。

【0153】

例えば、クロックレートC_rateは、SyncメッセージBの送信元の計測装置における1

10

20

30

40

50

秒の長さSecond_mに対する保護リレー 1 4 0 0における1秒の長さSecond_rの割合を求め、スケールを調整した値であり、下記の式(9)により計算される。

$$C_rate = \text{Second_r} / \text{Second_m} \times \text{scale} \quad \dots (9)$$

【0154】

なお、値scaleは、予め決められた値であり、整数演算で計算が容易なようにクロックレートC_rateのスケールを調整するために用いられる。

【0155】

図17は、物理量の時系列データの例を示す。保護リレー 1 4 0 0の時刻に換算した計測時刻と、当該計測時刻に計測された物理量の値とが対応付けられて、計測時刻保持される。この時系列データが、当該保護リレー 1 4 0 0に対する物理量データフレームの転送元の計測装置A、Bなどそれぞれについて、保持される。

10

【0156】

図18は、本第2の実施形態に適用可能な計測装置800の一例の構成を示す。なお、図18において、上述した図3の計測装置500と共通する部分には同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。また、以下では、図18について、上述の図3の構成と異なる部分についてのみ、説明する。この図18に示される計測装置800は、上述した図1の計測装置104~109に対応する。

【0157】

図18に示される計測装置800は、図3に示した計測装置500と比較して、時刻計算部513およびタイミング調整部517が削除されている代わりに、時刻提供部2313が備えられている。時刻提供部2313は、水晶発振器515から出力されるクロックカウンタに基づき、定期的にSyncメッセージBを生成する。生成されたSyncメッセージBは、MUX505を介してネットワーク処理部503に転送され、通信インタフェース501により送信される。

20

【0158】

また、時刻提供部2313は、Pdeley_ReqメッセージおよびPdeley_Responseメッセージを生成する。生成されたPdeley_ReqメッセージおよびPdeley_Responseメッセージは、MUX505を介してネットワーク処理部503に転送され、通信インタフェース501または502により送信される。さらに、時刻提供部2313は、通信インタフェース501または502により受信され且つネットワーク処理部503およびDEMUX506を介して転送されたPdeley_ReqメッセージおよびPdeley_Responseメッセージを、処理する。

30

【0159】

次に、本第2の実施形態に係る保護リレーの処理を説明する。図19は、計測装置107が保護リレー102に対して物理量データフレームを送信する際の一例の処理を示すシーケンス図である。上述の図1を参照し、計測装置107から出力された物理量データフレームは、計測装置104および105を介して保護リレー101に転送され、さらに、保護リレー101から保護リレー102に対して転送される。なお、途中の計測装置104および105における処理は、上述した計測装置105における処理と同等なので、ここでの説明を省略する。

40

【0160】

図19に示すシーケンスは、第1、第2および第3の、3のシーケンスに分類される。第1のシーケンスは、計測装置107が送信したSyncメッセージBを保護リレー102が受信し、保護リレー102が計測装置107の時刻を把握する。第2のシーケンスは、保護リレー102が隣接する機器との間のネットワーク上における通信遅延を定期的に測定する。第3のシーケンスは、計測装置107が保護リレー102に対して物理量データフレームを送信する。

【0161】

なお、これら第1~第3のシーケンスは、それぞれ独立したタイミングで実行されてもよく、第1~第3のシーケンスがどのような順番で行われてもよい。また、本第2の実施

50

形態では、第2のシーケンスを必ずしも実行する必要はない。第2のシーケンスは、SyncメッセージBの転送遅延時間を高精度に計測するために実行されるもので、第2のシーケンスを実行することで、保護リレーが計測装置の時刻を高精度に把握することができる。高精度が必要ない場合は、第2のシーケンスの実行を省略可能である。

【0162】

まず、第1のシーケンスについて説明する。計測装置107は、SyncメッセージB2001を送信する(ステップS2051)。SyncメッセージB2001の宛先アドレスは、保護リレー102のアドレス若しくはマルチキャストアドレスである。このSyncメッセージB2001は、遮断器コントローラ119、計測装置104および計測装置105それぞれにより順次転送され(図示しない)、保護リレー101に受信される。

10

【0163】

遮断器コントローラ119、計測装置104および計測装置105は、SyncメッセージB2001を転送する際に、SyncメッセージB2001に含まれるCorrectionフィールドの値を、下記の式(10)で計算される値D_new_correctionで置き換えてもよい。

$$D_new_correction = D_trans + D_old_correction + D_pdelay \quad \dots (10)$$

【0164】

なお、式(10)において、値D_transは、SyncメッセージB2001の転送処理時間を示す。値D_old_correctionは、元のSyncメッセージB2001のCorrectionフィールドに記述されていた値を示す。値D_pdelayは、SyncメッセージB2001を受信した通信インタフェースと、ケーブルで接続された隣接装置との間の通信遅延を示す。

20

【0165】

保護リレー101は、ステップS2052で、SyncメッセージB2001を保護リレー102に転送する。ステップS2052における保護リレー101における転送処理は、図6のステップS752で説明した、第1の実施形態の計測装置105における処理と同様に行われる。ステップS2052において、保護リレー101は、値D_new_correctionの値を計算し、Correctionフィールドに記述してもよい。

【0166】

保護リレー102は、保護リレー101から転送されたSyncメッセージB2001を受信する(ステップS2053)。そして、保護リレー101は、受信したSyncメッセージB2001から、計測装置107の時刻およびクロックレートを把握する。

30

【0167】

ステップS2053における保護リレー102の動作を、図15を参照しながら説明する。保護リレー102(保護リレー1400)において、通信インタフェース1401がSyncメッセージB2001を受信したと想定する。通信インタフェース1401は、SyncメッセージB2001をネットワーク処理部1403に対して出力する。ネットワーク処理部1403は、水晶発振器1404から出力されたクロックカウンタを、タイムスタンプとして取得する。

【0168】

SyncメッセージB2001の宛先アドレスはリレー1400のアドレスか、またはマルチキャストアドレスであるため、ネットワーク処理部1403は、SyncメッセージB2001をDEMUX1405に対して出力する。SyncメッセージB2001の宛先アドレスがマルチキャストアドレスの場合、ネットワーク処理部1403は、さらに通信インタフェース1402に対してSyncメッセージB2001を出力する。その後の処理は、図6のステップ752における処理と同様であるので、ここでの説明を省略する。

40

【0169】

次に、DEMUX1405は、SyncメッセージB2001の出力先を決定する。DEMUX1405は、入力されたフレームがSyncメッセージB、Pdelay_ReqメッセージまたはPdelay_Responseメッセージである場合に、当該フレームを時刻計算部1409に対して出力し、DEMUX1405は、入力されたフレームが物理量データフレームであれば、当該フレームをタイムスタンプ補正部1410へ出力し、それら以外のフレームを全て

50

DMAコントローラ1408に対して出力する。ここでは、SyncメッセージB2001のフレームが入力されたため、DEMUX1405は、入力されたSyncメッセージB2001を、時刻計算部1409に対して出力する。

【0170】

時刻計算部1409は、ネットワーク処理部1403から、SyncメッセージB2001受信時の時刻を示すクロックカウンタを取得する。そして、時刻計算部1409は、SyncメッセージB2001に記載されたSyncメッセージB2001の送信時刻T_sync_sendとすると、SyncメッセージB2001受信時のクロックカウンタC_sync_recvと、SyncメッセージB2001の通信遅延D_syncと、記憶部1412に保存していた、前回SyncメッセージBを受信した際の計測装置の時刻と、保護リレー102の時刻とを用いて、クロックレートを計算する。

10

【0171】

なお、通信遅延D_syncは、予め決められた値を用いてもよい。また、通信遅延D_syncは、SyncメッセージB2001のCorrectionフィールドに記された値を用いてもよい。さらに、通信遅延D_syncは、SyncメッセージB2001のCorrectionフィールドに記された値に、後述する第2のシーケンスで計測した、保護リレー102と保護リレー101との間の通信遅延を加えた値を用いてもよい。

【0172】

時刻計算部1409は、クロックレートを例えばPI制御、回帰解析、線形計画法などの方法で計算することができる。なお、時刻計算部1409は、前回のSyncメッセージBを受信した以前に受信した、1以上のSyncメッセージBを受信した際の計測装置および保護リレー1400の時刻を記憶部1412に保存しておくことができる。時刻計算部1409は、前回のSyncメッセージBを受信した際の計測装置および保護リレー1400の時刻を用いると共に、記憶部1412に保存されたこれら1以上の計測装置および保護リレー1400の時刻を用いて、クロックレートを計算してもよい。これにより、回帰解析、線形計画法などの方法を用いる場合に、クロックレートを精度良く推測できる。

20

【0173】

時刻計算部1409は、算出されたクロックレートを、記憶部1412に保存する(図16参照)。また、時刻計算部1409は、下記の式(11)により、SyncメッセージB2001の受信時における計測装置107の時刻T_sync_est_recvを計算し、記憶部1412に保存する(図16参照)。

30

$$T_sync_est_recv = T_sync_send + D_sync \quad \dots (11)$$

【0174】

さらに、時刻計算部1409は、下記の式(12)により、SyncメッセージB2001の受信時における保護リレー1400の時刻T_sync_recv_rを計算し、記憶部1412に保存する(図16参照)。

$$T_sync_recv_r = T_origin + C_sync_recv \times f \quad \dots (12)$$

【0175】

なお、値T_originは前回SyncメッセージBを計測装置107から受信したときに計算した値T_sync_recv_rである。但し、SyncメッセージB2001が保護リレー107から初めて受信したSyncメッセージBである場合、T_originは例えばクロックカウンタが「0」のときの保護リレーの時刻である。以上が、ステップS2053における保護リレー102の処理である。

40

【0176】

次に、第2のシーケンスについて説明する。第2のシーケンスでは、隣接機器間の遅延を測定する。保護リレー102は、定期的にPdelay_Reqメッセージを隣接する保護リレー101に送信し、保護リレー101からPdelay_Responseメッセージを受信する。

【0177】

図19において、ステップS2054で保護リレー102から保護リレー101に対してPdelay_Reqメッセージ2002が送信され、このPdelay_Reqメッセージ2002に応

50

じて、ステップS 2 0 5 5で、保護リレー1 0 1からPdelay_Reqメッセージ2 0 0 3が返され、ステップS 2 0 5 6で保護リレー1 0 2に受信される。このステップS 2 0 5 4～ステップS 2 0 5 6の処理は、それぞれ図6に示す第1の実施形態におけるステップS 7 5 4～ステップS 7 5 6における処理と同様であるので、ここでの詳細な説明を省略する。なお、隣接機器間の遅延測定は、任意の隣接機器間で計測してもよい。

【0178】

次に、第3のシーケンスについて説明する。第3のシーケンスでは、保護リレー1 0 2が計測装置1 0 7から物理量データフレームを受信する。まず、計測装置1 0 7は、物理量データフレーム2 0 0 7を送信する(ステップS 2 0 5 7)。この物理量データフレームは、遮断器コントローラ1 1 9、計測装置1 0 4、および計測装置1 0 5により順次転送されて、保護リレー1 0 1に受信される。保護リレー1 0 1は、受信した物理量データフレームを、保護リレー1 0 2に対して転送する(ステップS 2 0 5 8)。このステップS 2 0 5 8での保護リレー1 0 1における処理は、上述の第1の実施形態による、図6のステップS 7 5 8での計測装置1 0 5における処理と同様なので、ここでの詳細な説明を省略する。

【0179】

ステップS 2 0 5 9で、保護リレー1 0 2は、物理量データフレーム2 0 0 7を受信し、送電線1 1 7における異常の有無を検証する。このステップS 2 0 5 9における保護リレー1 0 2の動作を、図15および図20を用いて説明する。

【0180】

まず、図20に示すように保護リレー1 0 2(保護リレー1 4 0 0)は物理量データフレーム2 0 0 7を受信する(ステップS 2 1 0 1)。ここでは、通信インタフェース1 4 0 1が物理量データフレーム2 0 0 7を受信したと想定する。通信インタフェース1 4 0 1は、受信した物理量データフレーム2 0 0 7を、ネットワーク処理部1 4 0 3に対して出力する、物理量データフレーム2 0 0 7の宛先アドレスは、保護リレー1 0 2のアドレス若しくはマルチキャストアドレスである。そのため、ネットワーク処理部1 4 0 3は、物理量データフレーム2 0 0 7を、DEMUX 1 4 0 5に対して出力する。

【0181】

なお、物理量データフレーム2 0 0 7の宛先アドレスがマルチキャストアドレスの場合、ネットワーク処理部1 4 0 3は、物理量データフレーム2 0 0 7を通信インタフェース1 4 0 2に対して出力する。そして通信インタフェース1 4 0 2は物理量データフレーム2 0 0 7をネットワークへ送信する。ら出力された物理量データフレーム2 0 0 7をネットワークに対して送信する。

【0182】

次に、DEMUX 1 4 0 5は物理量データフレーム2 0 0 7をタイムスタンプ補正部1 4 1 0に対して出力する(ステップS 2 1 0 2)。タイムスタンプ補正部1 4 1 0は、物理量データフレーム2 0 0 7に記述された時刻を、リレー1 4 0 0の時刻に変換する。

【0183】

ステップS 2 1 0 2における時刻の変換処理方法を以下で詳しく説明する。まず、タイムスタンプ補正部1 4 1 0は、物理量データフレーム2 0 0 7の送信元アドレスに一致するレコードを、図17に示すテーブルから検索する。タイムスタンプ補正部1 4 1 0は、テーブルから検索されたレコードから、クロックレートC_rateと、前回Syncメッセージ2 0 0 7を受信したときの計測装置1 0 7の時刻で換算した時刻T_sync_est_recvと、保護リレー1 4 0 0の時刻T_sync_recv_rとを取得する。

【0184】

次に、タイムスタンプ補正部1 4 1 0は、スケール値scaleと、クロックレートC_rateと、時刻T_sync_est_recvと、時刻T_sync_recv_rとを用いて、下記の式(13)および式(14)により、物理量データフレーム2 0 0 7に記載された計測時刻T_measured_mを保護リレー1 4 0 0の時刻T_measured_rに変換し、記憶部1 4 1 2に保存する。

$$D_from_sync = (T_measured_m - T_sync_est_recv) \times C_rate / scale \quad \dots (13)$$

10

20

30

40

50

)

$$T_measured_r = T_sync_recv_r + D_from_sync \quad \dots (14)$$

【0185】

なお、値 D_from_sync は、以前のSyncメッセージB2001の受信時から物理量データフレーム2007送信時までの時間を、保護リレー1400の時刻に換算した時間である。

【0186】

次に、リレー演算部1411は、記憶部1412に保存された時系列データを用いて送電線117における異常の有無を検証する(ステップS2103)。記憶部1412に保存された時系列データの計測時刻は、全て保護リレー1400の時刻で換算した時刻である。そのため、リレー演算部1411は、複数の計測装置から得た時系列データ同士を比較可能である。異常検知に用いるアルゴリズムは、特に限定されない。例えば、リレー演算部1411は計測装置106から得た時系列データと計測装置107から得た時系列データとの間に大きな差があるとき、送電線117に異常があると判断することができる。

【0187】

次に、ステップS2104においてリレー演算部1411の処理はステップS2103の検証結果に基づき分岐する。若し、ステップS2103で、リレー演算部1411が送電線117に異常がないと判定した場合、この図20のフローチャートによる一連の処理が終了され、保護リレー1400は、第3のシーケンスにおける処理を終える。

【0188】

一方、ステップS2103において、リレー演算部1411が送電線117に異常があると判定した場合、保護リレー1400は、遮断指令メッセージを遮断器コントローラ120に対して送信する(ステップS2105)。より詳細には、ステップS2105において、リレー演算部1411は、CPU1407に対して割り込みをかける。この割り込みに応じて、CPU1407は、記憶部1412に記憶されたプログラムに従い、遮断を指令するためのメッセージ(以下、遮断指令メッセージと呼ぶ)を生成する。

【0189】

次に、CPU1407は、DMAコントローラ1408に、遮断指令メッセージを送信するよう指令する。MUX1406は、DMAコントローラ1408から遮断指令メッセージを取得し、ネットワーク処理部1403に対して出力する。ネットワーク処理部1403は、MAC処理を行い、通信インタフェース1401および通信インタフェース1402に対して遮断指令メッセージを出力する。通信インタフェース1401および通信インタフェース1402は、遮断指令メッセージを遮断器コントローラ120に対して送信する。遮断器コントローラ120は、遮断指令メッセージを受信すると、遮断器111に対して遮断信号を送出する。遮断器111は、遮断信号を受信すると、送電線117の電気を遮断する。

【0190】

以上のように、本第2の実施形態によれば、異なる計測装置が異なるタイミングで物理量を計測しても、物理量データフレームを受信する保護リレーは、計測時刻を保護リレーの時刻に換算するため、時系列データ同士を比較できる。そのため、システム内の全ての機器に時刻を配信する時刻サーバが必要ないという利点がある。

【0191】

また、例えば保護リレー102が故障するか、保護リレー102の時刻に異常が生じても、母線保護リレー130に影響を及ぼさないため、母線保護リレー130は、複数の計測装置から得た物理量の時系列データを正しく比較できる。そのため、本第2の実施形態に係る保護リレーおよび母線保護リレーを用いることで、変電所の信頼性を向上できる。

【0192】

さらに、本第2の実施形態に係る保護リレーおよび母線保護リレーを送電線保護システムに導入することによって、計測装置は、物理量の送信先であるそれぞれの保護リレーおよび母線保護リレー毎にPLLを備える必要がない。そのため、システムの拡張が容易で

10

20

30

40

50

ある。これに対して、物理量データフレームの送信先の装置毎に1のPLLを計測装置に備えることで計測タイミングを決定する方法では、計測装置が備えるPLLの数に送信先の装置数が制限されてしまい、拡張性に欠ける。

【0193】

また、本第2の実施形態では、保護リレーや母線保護リレーと、計測装置とを1対1で接続する必要がない。そのため変電所の要件に応じて柔軟なネットワークを構成可能である。例えば、本第2の実施形態による送電線保護システムは、図10を用いて説明した、ダブルスター型のネットワークにより構成することができる。この場合、本第2の実施形態に係る保護リレーおよび母線保護リレーの動作は、受信したフレームの宛先アドレスがマルチキャストアドレスであるか自身のアドレスでない場合にそのフレームを転送しないこと以外、本第2の実施形態と同様である。また、本第2の実施形態による送電線保護システムは、図11を用いて説明したシングルスター型のネットワークによっても構成可能である。

10

【0194】

なお、本第2の実施形態に係る送電線保護システムは、時刻に関するデータの送受信量を低減できる。典型的な変電所では、時刻を把握する頻度は、物理量を送信する頻度よりも低い。一方、第2の実施形態に係る保護リレーおよび母線保護リレーは、計測装置の時刻の把握と送電線における異常の検証とを、別のシーケンスで行うため、時刻に関するデータの送受信量を低減できる。

【0195】

20

これに限らず、本第2の実施形態に係る保護リレーおよび母線保護リレーは、SyncメッセージBと物理量データフレームとを1のメッセージに纏めた統合メッセージを処理してもよい。統合メッセージは、物理量の値と、統合メッセージの送信時刻と、Correctionフィールドとを含む。保護リレー1400の時刻計算部1409は、統合メッセージの送信時刻およびCorrectionフィールドの値をSyncメッセージBによる送信時刻およびCorrectionフィールドの値の代わりに利用して、計測装置の時刻を把握する。また、保護リレー1400のタイムスタンプ補正部1410は、統合メッセージの送信時刻および物理量の値を、物理量データフレームの代わりに利用する。

【0196】

また、本第2の実施形態に係る保護リレー1400の時刻計算部1409は、通信インタフェース1401と通信インタフェース1402との間で転送されるSyncメッセージBを処理してもよい。この場合、SyncメッセージBは、ネットワーク処理部1403およびDEMUX1405を経由して、時刻計算部1409に転送される。時刻計算部1409は、推定される転送処理時間を計算し、その値をSyncメッセージBに対して記述する。

30

【0197】

そして、時刻計算部1409は、SyncメッセージBを、MUX1406およびネットワーク処理部1403を介して、当該SyncメッセージBを受信した通信インタフェースとは別の通信インタフェースから出力する。SyncメッセージBの処理を時刻計算部1409に全て集約することで、保護リレーおよび母線保護リレーの回路規模を低減できる。

【0198】

40

(第2の実施形態の第1の変形例)

次に、本第2の実施形態の第1の変形例について説明する。この図21に例示される保護リレー1500は、図15を用いて説明した第2の実施形態による保護リレー1400から通信インタフェース1402を省き、通信インタフェースを1個のみにした例である。なお、図21において、上述の図15と共通する部分には同一の符号を付して、詳細な説明を省略する。

【0199】

保護リレー1500は、通信インタフェース1401が受信したフレームをDEMUX1405に出力すると共に、MUX1406に入力されたフレームを通信インタフェース1401に出力する点が、図15に例示した保護リレー1400と異なる。また、保護リ

50

レー 1500 は、通信インタフェース 1401 が受信したフレームの宛先アドレスがマルチキャストアドレスである場合に、そのフレームを転送しない。

【0200】

本第 2 の実施形態の第 1 の変形例による保護リレー 1500 は、図 11 を用いて説明した、シングルスター型のネットワークで構成された送電線保護システムにおける保護リレー 101' ~ 103'、ならびに、母線保護リレー 130' として用いることができる。

【0201】

(第 2 の実施形態の第 2 の変形例)

次に、本第 2 の実施形態の第 2 の変形例について説明する。図 22 - 1 に例示される保護リレー 1600 は、図 15 を用いて説明した第 2 の実施形態による保護リレー 1400 における一部の構成を、CPU 1407 上で動作するソフトウェアで実現した例である。なお、図 22 - 1 および図 22 - 2 において、上述の図 15 と機能が共通する部分には同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

10

【0202】

この例では、保護リレー 1600 は、ハードウェアとしては、通信インタフェース 1401 および 1402、ネットワーク処理部 1403、水晶発振器 1404、DEMUX 1405、MUX 1406、CPU 1407、DMA コントローラ 1408、タイムスタンプ補正部 1410、リレー演算部 1411、記憶部 1412、ならびに、バス 1430 を備える。CPU 1407、DMA コントローラ 1408、タイムスタンプ補正部 1410、リレー演算部 1411 および記憶部 1412 は、バス 1430 により互いに通信可能に接続される。

20

【0203】

そして、保護リレー 1600 は、図 22 - 2 に示されるように、時刻計算部 1409' が CPU 1407 上で実行される OS (Operating System) 1613 上で動作するソフトウェアとして構成される。時刻計算部 1409' は、図 15 のハードウェアとしての時刻計算部 1409 と同等の機能を実現する。時刻計算部 1409' は、OS 1613 を介して、DMA コントローラ 1408 や記憶部 1412 などにアクセスする。

【0204】

例えば、時刻計算部 1409' を構成するためのプログラムは、記憶部 1412 に対して予め記憶される。保護リレー 1600 の起動に伴い、CPU 1407 は、記憶部 1412 からプログラムを読み込んで実行することにより、各モジュールが図示されない RAM 上に展開され、時刻計算部 1409' が RAM 上に構成される。

30

【0205】

このように、保護リレー 1600 が有する一部の機能を CPU 1407 上で動作するソフトウェアとして実装することで、保護リレー 1600 の回路規模を削減することができる。さらに、本第 2 の実施形態の第 2 の変形例による保護リレー 1600 において、上述の第 2 の実施形態の第 1 の変形例による保護リレー 1500 の如く、通信インタフェース 1402 を省略し 1 の通信インタフェース 1401 のみを備える構成とすることもできる。

【0206】

(第 2 の実施形態の第 3 の変形例)

次に、本第 2 の実施形態の第 3 の変形例について説明する。図 23 - 1 に例示される保護リレー 1700 は、図 15 を用いて説明した第 2 の実施形態による保護リレー 1400 における、さらに多くの部分の構成を、CPU 1407 上で動作するソフトウェアで実現した例である。なお、図 23 - 1 および図 23 - 2 において、上述の図 15、ならびに、図 22 - 1 および図 22 - 2 と機能が共通する部分には同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

40

【0207】

この例では、保護リレー 1700 は、図 23 - 1 に示されるように、ハードウェアとしては通信インターフェイス 1401 および 1402、ネットワーク処理部 1403、水晶

50

発振器 1404、CPU 1407、DMAコントローラ 1408、記憶部 1412、ならびに、バス 1430 を備える。CPU 1407、DMAコントローラ 1408 および記憶部 1412 は、バス 1430 により互いに通信可能に接続される。

【0208】

そして、保護リレー 1700 は、図 23 - 2 に示されるように、時刻計算部 1409'、タイムスタンプ補正部 1410' およびリレー演算部 1411' が、CPU 1407 上で実行される OS (Operating System) 1613 上で動作するソフトウェアとしてそれぞれ構成される。時刻計算部 1409'、タイムスタンプ補正部 1410' およびリレー演算部 1411' は、それぞれ、図 15 のハードウェアとしての時刻計算部 1409、タイムスタンプ補正部 1410 およびリレー演算部 1411 と同等の機能を実現する。時刻計算部 1409'、タイムスタンプ補正部 1410' およびリレー演算部 1411' は、OS 1613 を介して、DMAコントローラ 1408 や記憶部 1412 などにアクセスする。

10

【0209】

このように、保護リレー 1700 が有するより多くの部分の機能を CPU 1407 上で動作するソフトウェアとして実装することで、保護リレー 1700 の回路規模を大幅に削減することができる。例えば、本第 2 の実施形態の第 3 の変形例によれば、上述した第 2 の実施形態の第 2 の変形例よりも、さらに回路規模を削減することが可能である。さらに、本第 2 の実施形態の第 3 の変形例による保護リレー 1700 において、上述の第 2 の実施形態の第 1 の変形例による保護リレー 1500 の如く、通信インタフェース 1402 を省略し 1 の通信インタフェース 1401 のみを備える構成とすることもできる。

20

【0210】

第 2 の実施形態の第 2 および第 3 の変形例による保護リレー 1600 または 1700 で実行されるプログラムは、例えば記憶部 1412 に予め記憶されて提供される。これに限らず、当該プログラムを、ネットワークを介して保護リレー 1600 または 1700 に対して提供してもよい。この場合、例えば、プログラムを含むフレームが通信インタフェース 1401 または 1402 に受信され、ネットワーク処理部 1403 および DMA コントローラ 1408 を介して記憶部 1412 に記憶される。

【0211】

これに限らず、当該プログラムを、インストール可能な形式または実行可能な形式のファイルで CD (Compact Disk)、フレキシブルディスク (FD)、DVD (Digital Versatile Disk) などのコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録されて提供されるようにもできる。この場合、バス 1430 に対して記録媒体を読み取り可能なドライブ装置を接続する。そして、プログラムが記録された記録媒体をこのドライブ装置に装着し、記録媒体からプログラムを読み出して記憶部 1412 に記憶させる。

30

【0212】

各実施形態および各実施形態の各変形例は、変電所における保護システム以外のシステムにも適用できる。例えば、工場、自動車、航空機、列車、船、発電所などにおけるオートメーションシステム、センサネットワーク、またはアドホックネットワークにおいて、複数個所における計測装置が計測したそれぞれの物理量を用いて外部の装置を制御する制御装置が利用されている。そこで、制御装置は各実施形態における保護リレーと同様の動作を行い、計測装置は各実施形態における計測装置と同様の動作を行うことで、信頼性が高くネットワークの柔軟性を兼ね備えた同期システムを構築可能である。なお、制御装置は遮断指令の代わりに外部の装置を制御する制御量を記述したメッセージを外部の装置へ送信してもよい。

40

【0213】

(公知例との比較)

各実施形態による計測装置は、物理量の送信先である保護リレーや母線保護リレーと 1 対 1 で接続する必要がない。そのため、変電所において長距離で大量のケーブルを敷設する必要が無いと共に、変電所の要件に応じて柔軟なネットワークを構成可能である。

50

【 0 2 1 4 】

これに対し、公知例である特許文献 1 および非特許文献 1 は、デジタルネットワークを活用して変電所における大量のケーブルを削減する保護システムを開示している。何れの保護システムにおいても、電力線近くに設置される計測装置が複数のアナログケーブルで入力された物理量をデジタル化して 1 本ケーブルを介して保護リレーへ送信する。これら特許文献 1 および非特許文献 1 には、複数の計測装置が物理量の計測タイミングを同期する方法を開示している。

【 0 2 1 5 】

しかしながら、特許文献 1 および非特許文献 1 の何方の方法も、ネットワーク構成の柔軟性と障害波及の防止を兼ね備えていない。例えば、非特許文献 1 は、イーサネット（登録商標）を用いて構成した変電所における系統保護システムを開示している。このシステムは、複数の保護リレーおよび計測装置をイーサネット（登録商標）を用いてリング状に接続する。各機器は、一方に隣接して接続される機器から受信したデータを、他方に隣接して接続される機器へと転送する。非特許文献 1 が開示するシステムは、デジタルネットワークとしてイーサネット（登録商標）を利用するため、機器の転送時間が転送のたびに異なる。

【 0 2 1 6 】

そこで、非特許文献 1 のシステムは、時刻同期プロトコル IEEE 1588 を利用して、イーサネット（登録商標）で構築されたネットワークでも高精度に伝送遅延を測定可能としている。すなわち、非特許文献 1 が開示するシステムでは、グラントマスタクロックと呼ばれる時刻サーバが時刻を配信し、複数の装置が自身の時刻をグラントマスタクロックの時刻に同期することで、複数の装置同士が時刻を同期する。

【 0 2 1 7 】

しかしながら、非特許文献 1 に記される系統保護システムにおいて、グラントマスタクロックに異常が起きると、系統保護システム内の全ての保護リレーが電力系統を保護できなくなる。

【 0 2 1 8 】

一般に、系統保護システム内における個々の保護リレーは、電力系統内の異なるエリアを監視する。例え、1 箇所のエリアを管轄する保護リレーや計測装置に異常が起きても、他のエリアを管轄する機器は関係なく正常に動作することが望まれる。

【 0 2 1 9 】

これに対し、非特許文献 1 が開示する系統保護システムでは、全ての機器がグラントマスタクロックの信頼性に影響を受けるため、系統保護システムの信頼性が著しく低下するおそれがある。グラントマスタクロックを冗長化しても、グラントマスタクロックの障害が系統保護システム全体に波及する可能性がある状況に変わりない。これは、システムがリング型ネットワークではなくスター型のネットワークで構成された場合でも、同様の問題が存在する。

【 0 2 2 0 】

上述した第 1 の実施形態および第 1 の実施形態の各変形例では、同じ保護リレーに物理量データフレームを送信する複数の計測装置は、同じ保護リレーの時刻を基にして物理量の計測タイミングを決定するため、同じタイミングで物理量を計測することができる。そして、たとえ一台の保護リレーが故障しても、他の保護リレーに送信するための物理量の計測タイミングに影響しない。また、上述した第 2 の実施形態および第 2 の実施形態の各変形例では、保護リレーは、異なる計測装置から送信された物理量の計測時刻を、自身の時刻に変換しているため、異なる計測装置それぞれの計測タイミングの関係を把握することができ、各計測装置の物理量の値による時系列データを比較することで、過電流等の異常の有無を検証できる。そして、たとえ一台の保護リレーが故障しても、他の保護リレーにおける時刻の変換処理に影響しない。そのため、各実施形態および各実施形態の各変形例は、非特許文献 1 において起こり得る、広範囲への障害波及を防ぐことができる。

【 0 2 2 1 】

また、特許文献 1 には、1 組の保護リレーと計測装置を 1 本の光ファイバケーブルで接続する保護システムが開示されている。特許文献 1 が開示するシステムは、保護リレーと計測装置との間に転送装置が存在しないため、伝送遅延を略一定に維持可能である。特許文献 1 が開示する計測装置は、保護リレーからクロック信号を受信したタイミングで、デジタル化した物理量を保護リレーへ送信する。保護リレーは、複数の計測装置へクロック信号を送信するタイミングを合わせることで、複数の地点の物理量の測定タイミングを同期する。

【 0 2 2 2 】

しかしながら、特許文献 1 が開示するシステムは、通信する 1 台の保護リレーと 1 台の計測装置につき 1 本のケーブルを必要とする。特許文献 1 が開示するシステムは、伝送遅延を一定に保つためリングやスター型といったネットワークを構成できないため、大量のケーブルを必要とする。

10

【 0 2 2 3 】

これに対して、各実施形態による計測装置は、既に説明したように、物理量の送信先である保護リレーや母線保護リレーと 1 対 1 で接続する必要がない。そのため、変電所において長距離で大量のケーブルを敷設する必要が無いと共に、変電所の要件に応じて柔軟なネットワークを構成可能である。

【 0 2 2 4 】

以上説明したように、第 1 および第 2 の実施形態、ならびに、各実施形態それぞれの各変形例は、時刻同期システムの高信頼性とネットワーク構成の柔軟性を兼ね備えた保護システムを構成することができる。

20

【 0 2 2 5 】

なお、本発明は、上記各実施形態および各実施形態の各変形例そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化することができる。また、上記各実施形態および各実施形態の各変形例に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成することができる。例えば、実施形態に示される全構成要素からいくつかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせても良い。

【 符号の説明 】

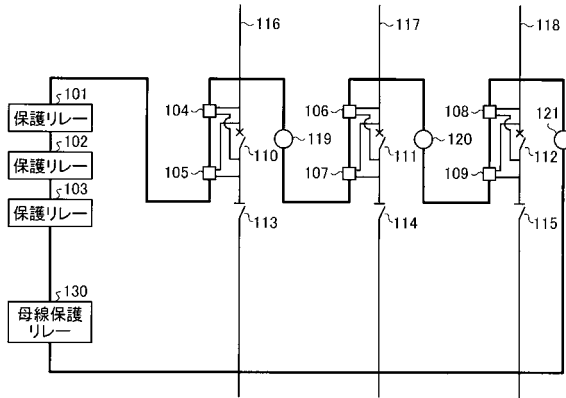
【 0 2 2 6 】

1 0 1 ~ 1 0 3 , 1 4 0 0 , 1 4 0 0 ' , 1 5 0 0 , 1 6 0 0 , 1 7 0 0 保護リレー
 1 0 4 ~ 1 0 9 , 5 0 0 , 6 0 0 , 7 0 0 , 8 0 0 計測装置
 1 3 0 母線保護リレー
 1 1 6 ~ 1 1 8 送電線
 5 0 1 , 5 0 2 , 1 4 0 1 , 1 4 0 2 通信インタフェース
 5 0 3 , 1 4 0 3 ネットワーク処理部
 5 0 5 , 1 4 0 6 M U X
 5 0 6 , 1 4 0 5 D E M U X
 5 1 2 , 1 4 0 7 C P U
 5 1 3 時刻計算部
 5 1 4 , 1 4 1 2 記憶部
 5 1 5 , 1 4 0 4 水晶発振器
 5 1 7 タイミング調整部
 5 1 8 フレーム生成部
 1 4 1 0 タイムスタンプ補正部
 1 4 1 1 リレー演算部
 2 2 0 9 時刻提供部

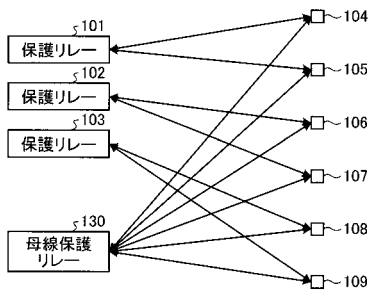
30

40

【図1】



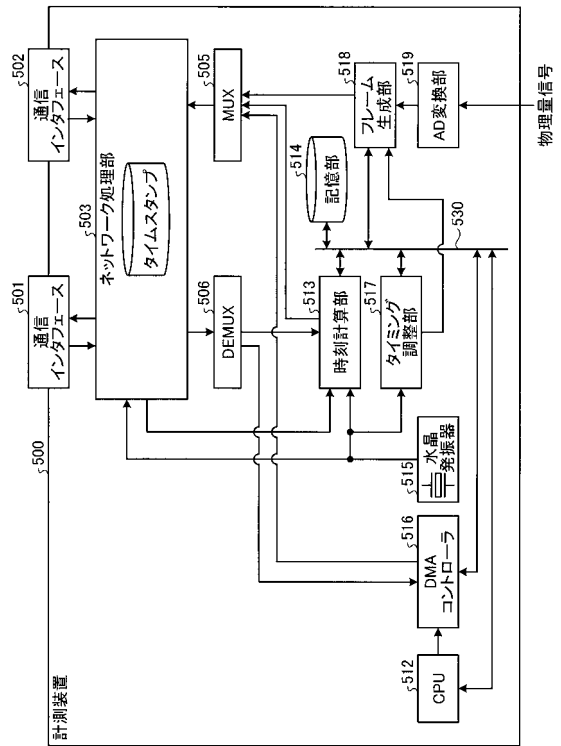
【図2】



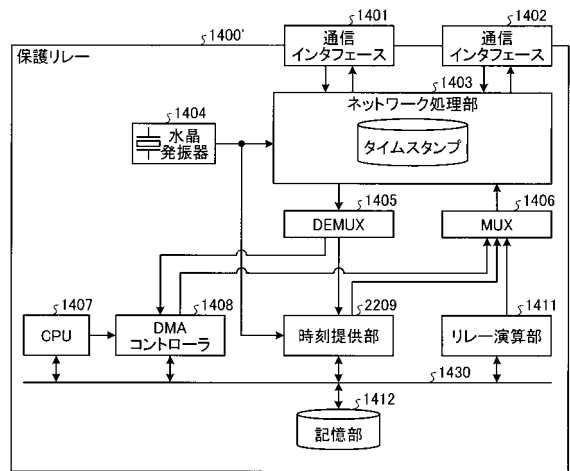
【図4】

インデックス	送信先アドレス	周波数 (保護リレーの クロックで換算)	Sync受信時の時刻 (保護リレーの クロックで換算)	Sync受信時の クロックカウンタ	計測精度[回/秒] (保護リレーの クロックで換算)	計測開始時の クロックカウンタ
0	00:0E:7B:5B:D1:75	25001250	2010/21/07 15:37 .003213421	0x3212a9b34d9e00a3	4000	0x3212a9b34d9e3220
1	00:0E:7B:5B:D2:80	24998770	2010/21/07 15:36 .102340839	0x3212a9b34d9e3177	4800	0x3212a9b34d9e3230
2						
3						

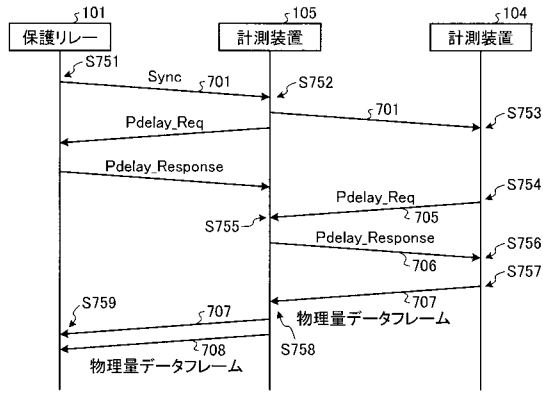
【図3】



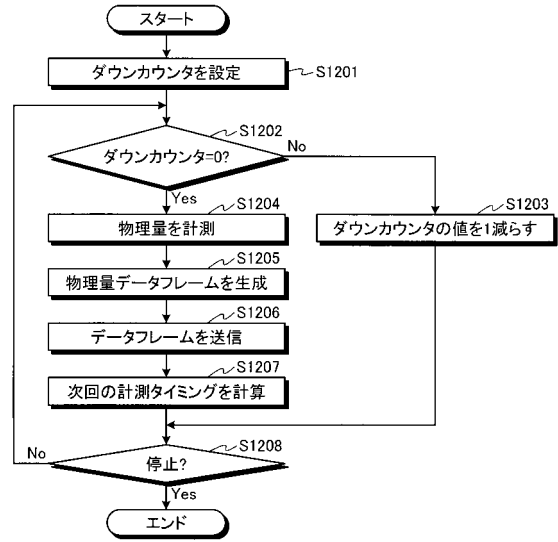
【図5】



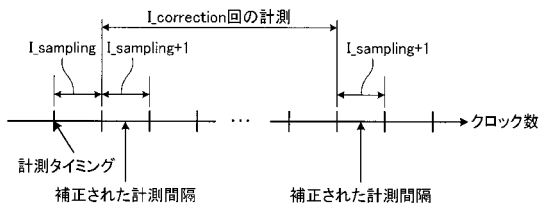
【図6】



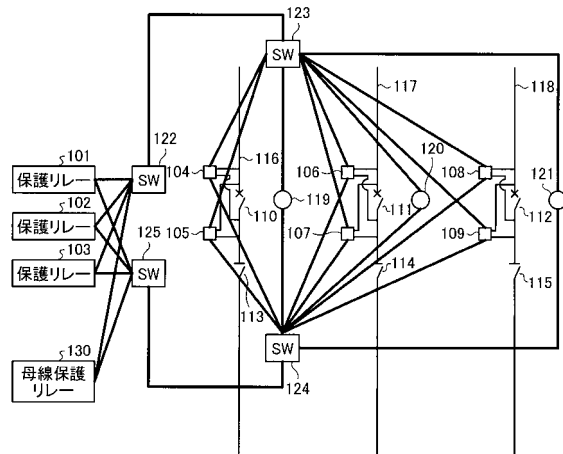
【図7】



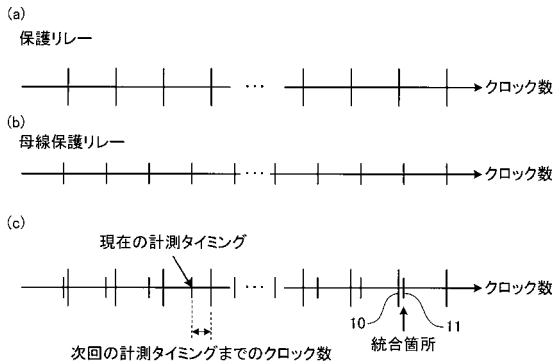
【図8】



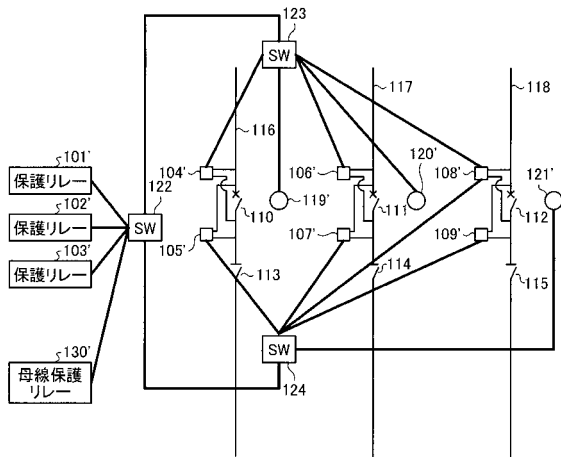
【図10】



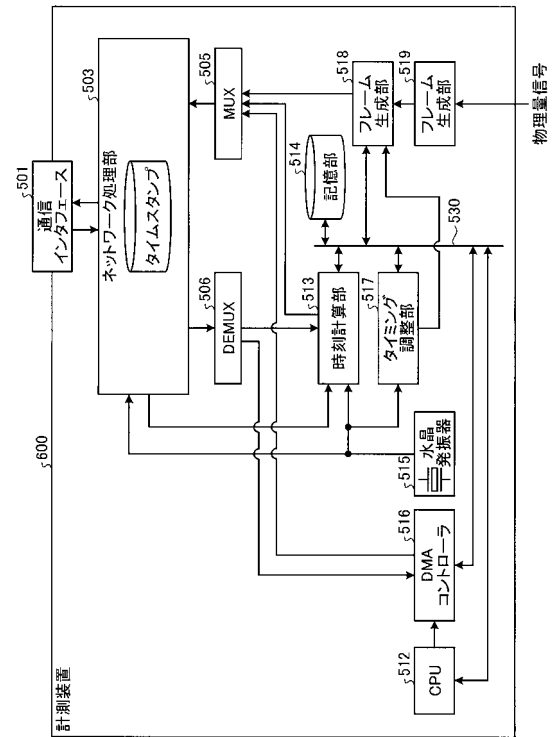
【図9】



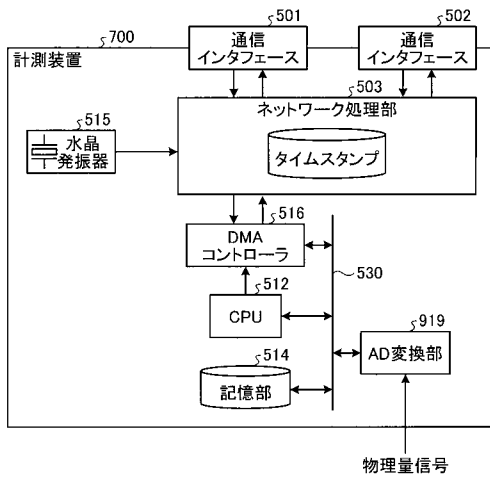
【図11】



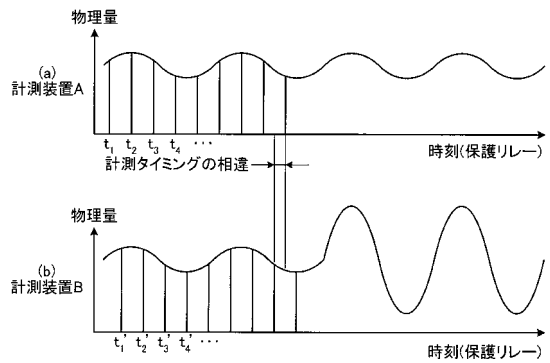
【図12】



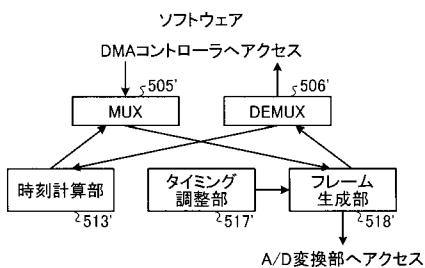
【図13-1】



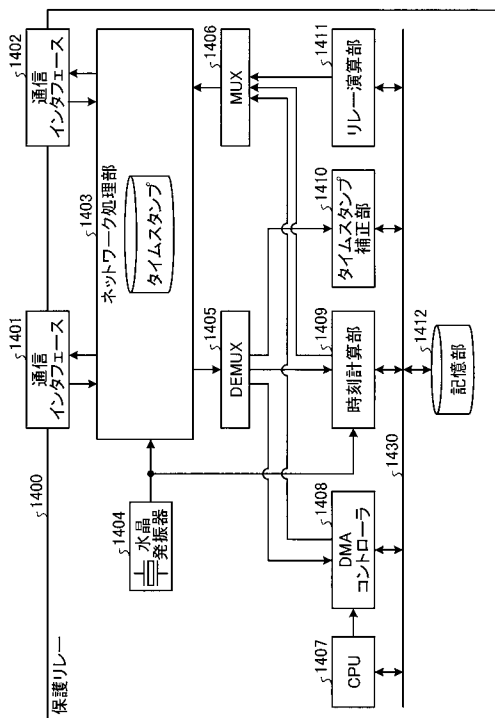
【図14】



【図13-2】



【図15】



【図16】

変換パラメータB

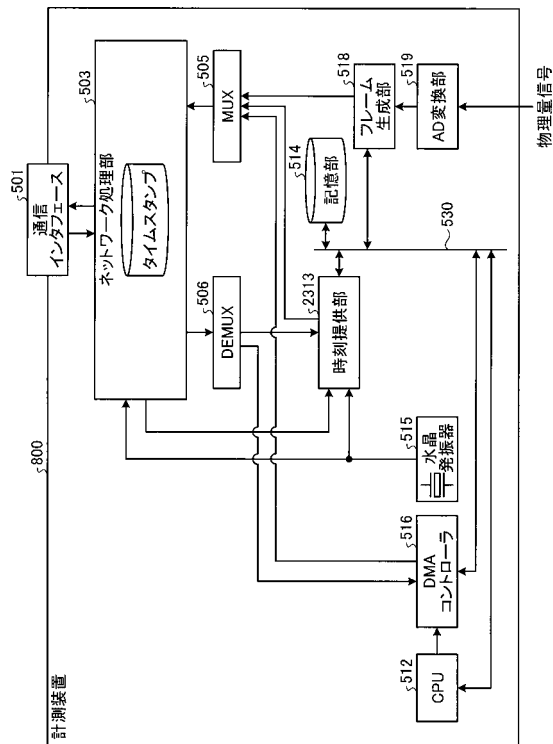
インデックス	送信先アドレス	クロックレート	Sync受信時の計測器の時刻	Sync受信時のリレーの時刻
0	00:0E:7B:5B:D1:75	1000001250	2010/21/07 15:37.003213421	0x3212a9b34d9e00a3
1	00:0E:7B:5B:D2:80	999999825	2010/21/07 15:36.102340839	0x3212a9b34d9e3177
2				
3				

【図17】

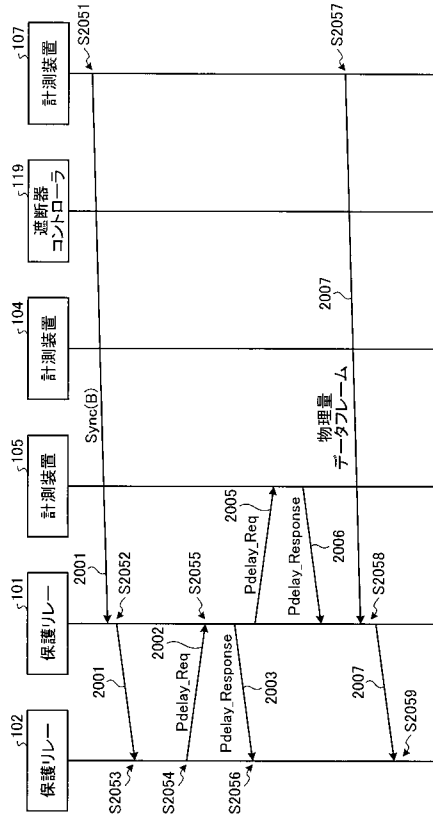
計測装置A		2010/21/07 15:37		2010/21/07 15:37		2010/21/07 15:37		2010/21/07 15:37	
計測時刻 (リレーの時刻で換算)	0	.003213421	.003238421	.003263421	.103163421	.103883421	.103883421	.103213421	0
物理量		0.196147739	0.391086163	0.391086163	-0.391086163	-0.196147739	-0.196147739	0	0

計測装置B		2010/21/07 15:37		2010/21/07 15:37		2010/21/07 15:37		2010/21/07 15:37	
計測時刻 (リレーの時刻で換算)	0.019634752	.003213451	.003238451	.003263451	.103163451	.103883451	.103883451	.103213451	0.019634752
物理量		0.215715914	0.410467116	0.410467116	-0.371661085	-0.176567465	-0.176567465	0.019634752	0.019634752

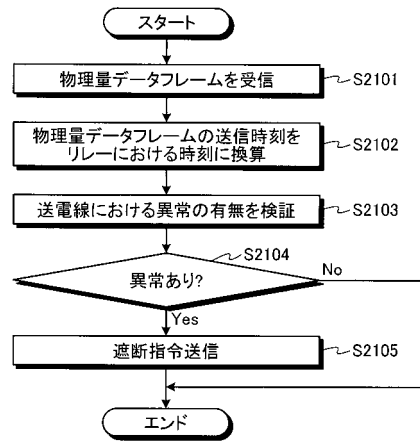
【図18】



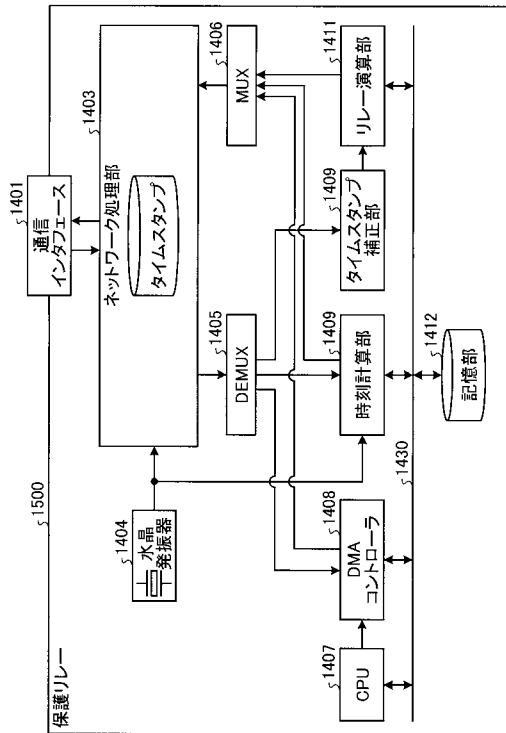
【図19】



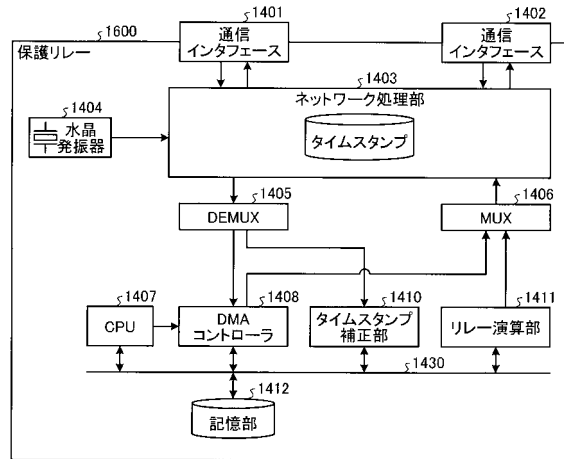
【図20】



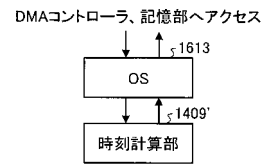
【図21】



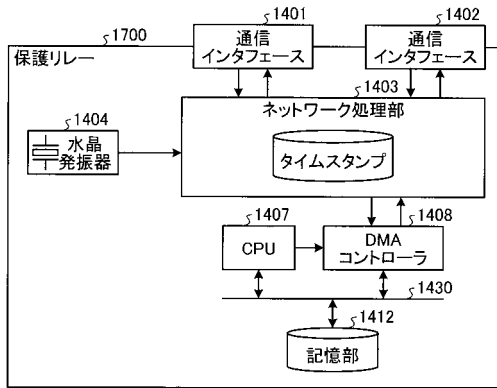
【図22-1】



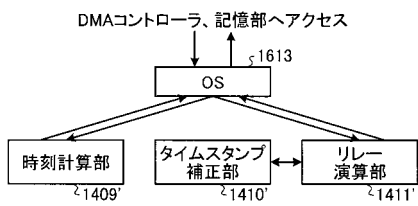
【図22-2】



【図 23 - 1】



【図 23 - 2】



フロントページの続き

(72)発明者 片山 茂樹
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 赤穂 嘉紀

(56)参考文献 特開2002-315233(JP,A)
特開2008-067595(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02H 3/28